МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

КАИ

КАИ – крылья для жизни!

«XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

(школа молодых ученых)»

ТОМ I

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
СБОРНИК ДОКЛАДОВ

Министерство образования и науки Российской Федерации

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics

Российский фонд фундаментальных исследований

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ)

Международная молодежная научная конференция

«XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (школа молодых ученых)»

ТОМ I

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

Казань 2017

УДК 629.7(082)
ББК 39.5+39.6я43
Т85

Т85 XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, 8–10 ноября 2017 года: Материалы конференции. Сборник докладов: в 4 т. – Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2017. – Т. 1. – 1146 с.: ил.

ISBN 978-5-9690-0393-4 (т. 1)
ISBN 978-5-9690-0392-7

В сборнике представлены тексты докладов участников Международной молодёжной научной конференции «XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых)», посвященные актуальным вопросам и проблемам развития аэрокосмических технологий, машиностроения, энергетики, приборостроения, информационных, инфокоммуникационных, радиоэлектронных технологий, а также социально-экономические аспекты создания аэрокосмической техники.

Конференция проводится на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» в рамках гранта РФФИ № 17-38-10308 мол_г.

Материалы докладов публикуются в авторской редакции.

Ответственность за аутентичность и точность имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов.

УДК 629.7(082)
ББК 39.5+39.6я43

ISBN 978-5-9690-0393-4 (т. 1)
ISBN 978-5-9690-0392-7

© Авторы докладов 2017
© Изд-во АН РТ (оформление), 2017

СЕКЦИЯ 1

АЭРОМЕХАНИКА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОЧНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ (ПИЛОТИРУЕМЫХ И БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ)

ПОДСЕКЦИЯ 1.1

АЭРОДИНАМИКА
И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

УДК 629.78

MULTI-LEVEL OPTIMIZATION DESIGN OF THE THICK COMPOSITE LAMINATE STRUCTURES CONSIDERING INTERLAMINAR STRESSES

Cao Hua
Scientific Supervisor: Z.J. Wang, Ph.D., professor
(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing)

Aiming at the optimum design of thick composite structure, a multi-level optimization design method is proposed for thick composite laminate structure in this paper. An algorithm for this method of optimizing the composite structure is given.

1. Introduction

With the further development of manufacturing and materials, composite materials are used from secondary structure to the primary structure. A lot of thick composite structures are used in some aircrafts and satellites, such as satellite truss, the wing beam, the solar wing connecting frame. In order to obtain a structure with minimum weight, optimization design of thick laminated composite structure is necessary. Compared with the thin-walled composite structure, the optimum design of the thick composite structure has following difficulties: (a) Optimization design of thick composite laminates requires consideration of delamination failure; (b) Design space is more complex; (c) Many design variables are discrete; (d) In order to reduce the interlaminar stresses, it is necessary to optimize the stacking sequence.

In actual applications, thick laminates normally have a certain periodic stacking sequence (see Fig.1) in order to avoid warping due to the presence of curing stresses. A multi-level optimization design method is proposed for thick composite laminate structures consisting of a repeating sublaminate in this paper.

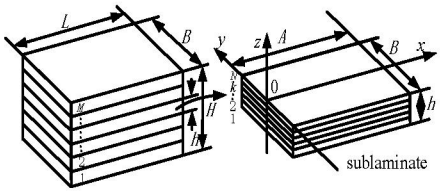


Fig. 1. Thick composite laminate consisting of a repeating sublaminate

2. Optimization problem

The overall objective of the optimization study is to minimize structural mass. The design variables in the optimum design of the thick composite structure include thickness, number of sublaminate, ply volume proportion and stacking sequence. It is required to meet the in-plane strength and interlaminar strength. The optimization problem can be mathematically stated as follows:

$$\begin{aligned} &\text{Find:} && X = \left(x_1, x_2, x_3, x_4\right)^T \\ &\text{Min:} && m = f\left(x_1, x_2, x_3, x_4\right) \\ &\text{Subject to:} && g_1\left(x_1, x_2, x_3, x_4\right) \le 1 \\ & && g_2\left(x_1, x_2, x_3, x_4\right) \le 1 \end{aligned}$$

where x_1 is the number of plies in the sublaminate, x_2 indicates the ply volume proportion, x_3 is the number of sublaminates, x_4 indicates stacking sequence, m is structural mass, g_1 is the in-plane stress factor ,and g_2 is the interlaminar stress factor.

The structure of thick composite laminates must meet some other technological requirements. The optimized laminate should meet the following requirements:

(1) The sublaminate is made of 0, 45, -45 and 90 degree plies.

(2) The sublaminate must be symmetric and balanced.

(3) At least 10% of the fibres in every layup should be lined up with each of the four principal directions: 0, 45, −45, and 90.

(4) At most 60% of the fibres in every layup should be lined up with each of the four principal directions: 0, 45, −45, and 90.

3. Multi-level optimization strategy

A multi-level optimization design method is proposed in this paper. This method is composed of two steps. The first-level optimization

design is based on the agent model, and its design variables include the number of plies in the sublaminate and ply volume proportion. The second-level optimization is divided into two levels. The design variable of the system level is the number of sublaminates. The subsystem level is optimization of laminate stacking sequence by genetic algorithm.

3.1 The first-level optimization design

The design variables of the first level are thickness of sublaminate and ply volume proportion, and the objective is to minimize structural mass. The sample points of the number of sublaminates are determined by design of experiment, and all feasible ply volume proportion of each sample point is obtained according to technological requirements.

The number of plies in the sublaminate is represented by N. The response of each sample point is the optimal ply volume proportion and the number of sublaminates corresponding to the sample. The number of sublaminates is expressed in M, and the ply volume proportion is expressed in N_0 and N_{45}, where N_0 and N_{45} represent the number of 0 and 45 deg plies in the sublaminate, respectively. Therefore, the response of the sample point can be expressed in N_0, N_{45} and M.

The response of each sample point can be obtained by second-level optimization, and the agent model is created by using the value of these samples and corresponding response values. The agent model is optimized to obtain the optimal N_0, N_{45} and M. The first-level optimization problem can be mathematically stated as follows:

$$\text{Find:} \qquad X = \left(x_1, x_2\right)^T$$

$$\text{Min:} \qquad m = f\left(x_1, x_2\right)$$

3.2 The second-level optimization design

For the given N_0, N_{45} and M, the number of sublaminates and stacking sequence is optimized in this stage. The second-level optimization is divided into two levels. The design variable of the system level is the number of sublaminates. The constraints of the system level, namely g_1 and g_2, are provided by the optimization of the subsystem level. The optimization problem of the system level can be mathematically stated as follows:

$$\begin{aligned} &\text{Find:} && x_3 \\ &\text{Min:} && m = f(x_3) \\ &\text{Subject to:} && g_1(x_3) \le 1 \\ & && g_2(x_3) \le 1 \end{aligned}$$

The subsystem level is optimization of laminate stacking sequence by genetic algorithm. The optimization problem of subsystem level can be mathematically stated as follows:

$$\begin{aligned} &\text{Find:} && x_4 \\ &\text{Min:} && g = g_2(x_4) \\ &\text{Subject to:} && g_1(x_4) \le 1 \end{aligned}$$

4. Example

As an example, a thick-walled composite pipe is optimized using the above method. The method proposed in this paper is proved to be efficient.

МНОГОУРОВНЕВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТОЛСТОСТЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРУКТУР

Као Хуа
Научный руководитель: Ч.Ц. Ван, доктор наук, профессор
(Нанкинский университет аэронавтики и астронавтики, г. Нанкин)

Для оптимизации толстостенной композитной конструкции предлагается многоуровневый метод проектирования. Приводится алгоритм такого метода оптимизации композитной структуры.

УДК 629.7

TO THE 30TH ANNIVERSARY OF THE LAUNCH OF THE UNIVERSAL MISSILE TRANSPORT SYSTEM "ENERGIA"

Liu Jun
Scientific Supervisor: A. Kretov, Doctor in engineering, professor
(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing)

The work is devoted to the historical and technical events of the creation of the transport system "Energia" and its main constructor, the 1953 KAI graduate Boris Gubanov. The first launch of "Energia", which took place on May 15, 1987, is directly considered.

In the midst of the implementation of the lunar program Apollo in the United States began a conceptual analysis of the new reusable transport space system. The official launch date for this project, which was named "Space Shuttle", is considered January 5, 1972, when the US president approved this NASA program agreed with the Ministry of Defense (Fig. 1, a). One of the arguments for the creation of such a rocket and space system was the concept of using space near-Earth space as a base for deployment of combat vehicles for "security" purposes. A reusable airspace aircraft (VCS) with a mass of 100-110 tons was produced on a low earth orbit. The starting mass of the entire system was about 2000 tons. Up to 29.5 tons of payloads could be placed in the cargo compartment of the VKS, and upon return from the orbit - 14, 5 tons of payloads.

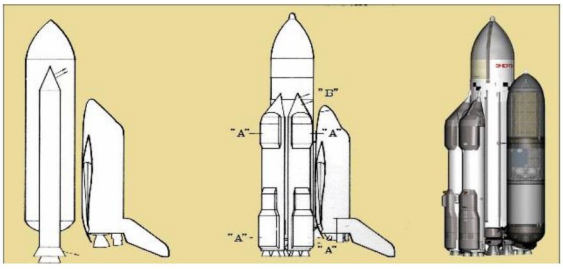
In 1976 the leaders of USSR decided to close the unrealized Soviet lunar program and to start developing a complex of a reusable rocket and space system that is an alternative to the "Space Shuttle". The result of this work was to create a universal carrier rocket "Energia" and the orbital ship "Buran".

As for the "Energia-Buran" system, it was necessary to ensure the removal to the support orbit of a height of 200 km and the inclination of 51° of useful cargo with a mass of at least 30 tons, with about 20 tons returned to Earth. The minimum time to prepare for a restart was to be

no more than 20 days, including repair and restoration work with Application of first-stage blocks from the exchange fund. Reusability was characterized by the multiplicity of use of the first stage blocks of the launch vehicle at least 10 times, the orbital ship - up to 100 times. The design of the units of the first stage and the systems included in it was recycled for reutilization without a bulkhead and replacement of the main units and assemblies. In 1979, the appearance of the reusable system as a whole and the launch vehicle "Energia" was formed similar to the final one - Fig.1, *b*. More than 1200 organizations participated in the development. About one million people were employed in the creation of this system in all branches of industry of the Soviet Union.

Since 1982, the chief designer of the "Energy" of the year has become Boris Gubanov the graduate of the KAI 1953. The main difference of the "Energia" launch vehicle from the "Space Shuttle" system is the ability to deliver any useful cargoes of large masses and dimensions into space. In particular, when using a cargo container with a mass of the order of 102 tons, a target load of up to 18 tons was delivered to the geostationary orbit, 32 tons to the moon, and about 28 meters to Mars and Venus. In addition, a rocket "Vulkan", with the capability of bearing a reference orbit up to 200 tons, was planned to create on the basis of "Energy" for the flight to Mars and other planets.

The "Energia" rocket has a starting mass of 2,400 tons, which includes 105 tons of liquid hydrogen, 1,544 tons of liquid oxygen, and 356 tons of kerosene. The maximum operational overload is 3 units. The final mass before the separation of the orbiter is 178.5 tons.



a) b) c)

Fig. 1. Projects of reusable transport systems: (a) - "Space Shuttle"; (b) - "Energia-Buran"; (c) - "Energia" with transport container

The complexity of the work can be judged, for example, by the volume of aerodynamic studies carried out. They were performed on models of scale 1:50, 1: 200, 1: 120, and 1:90 and 1:30. The total costs of aerodynamic blow-downs amounted to 16 thousand pipe hours (continuous operation time of pipes). This corresponds to approximately seven years of work of one wind tunnel in one shift of 8 hours. A similar volume of research was not carried out for any aircraft previously developed in the USSR.

1984 during creating of "Energia" Boris Gubanov proposed the so-called advanced launch. His idea was based on replacing preflight fire tests with cold technological tests, and fire tests were combined with a test launch of the missile. This made it possible to substantially accelerate the completion of the work on the launch vehicle and to ensure a fuller identification of possible defects. May 15, 1987, the "Energia" was launched with the experimental load, which was the satellite "Polus"- Fig.2. This satellite was a mass-scale model of the "Skif-DM" spacecraft, which represents an orbital laser platform. This launch fully confirmed the correctness of the new approach to the design of heavy rocket and space systems. The end result was the successful flight of the "Energia-Buran" system in an automatic mode on November 15, 1988. The collapse of the USSR led to the closure of this program.

The needs of the modern market of payloads for a variety of purposes and the existing severe competition necessitate the creation of new generation vehicles that provide an order of magnitude lower cost of excavation and greater reliability.

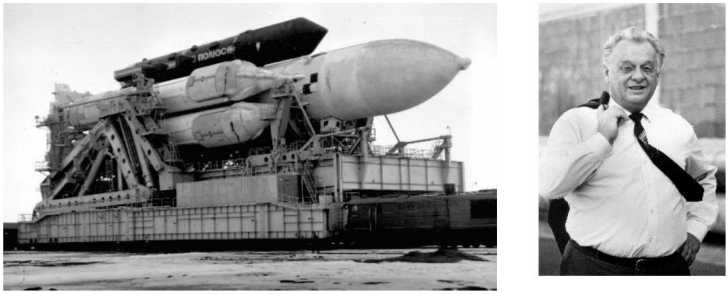


Fig. 2. Transportation of the launch vehicle "Energia" to the launch site in May 1987 and its chief designer Boris Gubanov

Despite the fact that the launch vehicle "Energia" made its test flight 30 years ago, it potentially continues to be one of the prospective vehicles in various weight variants, including the launch of a target for the implementation of a long-standing dream to a low reference orbit Man to fly to Mars.

Literature

1. Gubanov B.I. "Triumph and the tragedy of "Energia". Reflections of the Chief Designer." N.Novgorod: Publishing house of the Nizhny Novgorod Institute of Economic Development, 1998. (In Russian)

К 30-ЛЕТИЮ ЗАПУСКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ РАКЕТНО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ «ЭНЕРГИЯ»

Лиу Жун
Научный руководитель: А.С. Кретов, д.т.н., профессор
(Нанкинский университет аэронавтики и астронавтики, г. Нанкин)

Работа посвящена историко-техническим событиям создания транспортной системы «Энергия» и ее главному конструктору, выпускнику КАИ 1953 г. Борису Губанову. Непосредственно рассматривается первый запуск «Энергии», который состоялся 15 мая 1987 г.

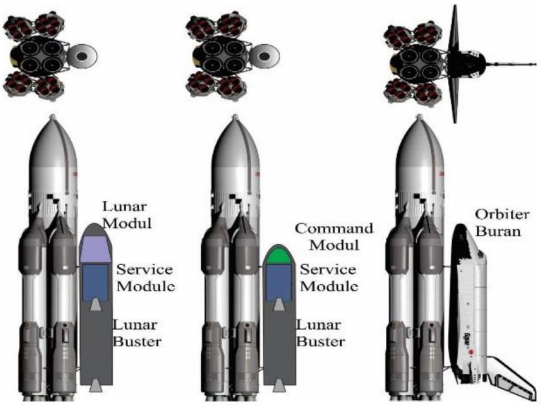
УДК 629.7

CONCEPTUAL PROJECT OF TRANSPORT SYSTEM FOR LUNAR PROGRAM

Liu Jun, Zhang Cong
Scientific Supervisor: A. Kretov, Doctor in engineering, professor
(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing)

The conceptual project of the transport system for the flight to the moon is considered. The transport system Energia, developed under the leadership of Boris Gubanov, which had two successful launches in 1987 and 1988, was adopted as the main part.

The idea was to form a new moon landing program by combining the American Appollo plan and Russian Energia. The transport system Energia, developed under the leadership of Boris Gubanov, which had two successful launches in 1987 and 1988, was adopted as the main part. The idea of the whole plan can be clearly expressed in figure 1-1.



(a) First launch (b) Second launch (c) Energia-Buran

Fig. 1-1. The whole project

For our project, the main parameters (Approximately) are in the following chart.

Parts	Mass of First Launch	Mass of Second Launch
Lunar booster	70tons	70tons
Lunar module	20tons	0
Command module	0	5.6
Service module	20tons	20tons
Cargo	0	14.4tons
Total	110tons	110tons

THE MAIN FOR THE PROJECT

Flight Mission

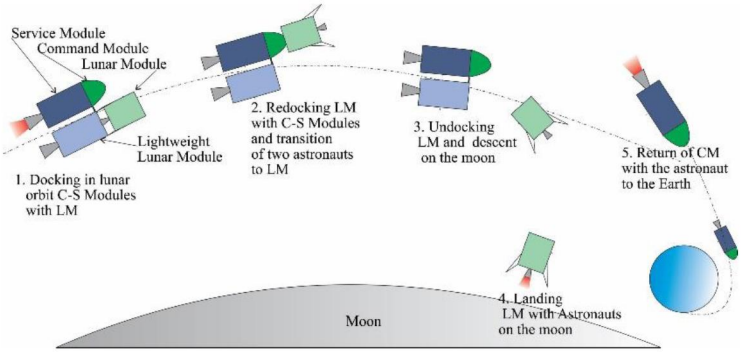
Our project needs two starts. First, the rockets take the lunar module and service module into the low earth orbit. After that, the lunar booster will accelerate and send the two parts into the low moon orbit. Then the rockets will work as the first starts and send the command module and service module. The C-S Module will dock with L-S module in the low moon orbit after some preparations. In the subsequent expeditions to the moon, the cargo will be taken to supply the lunar module for more research.

Energia

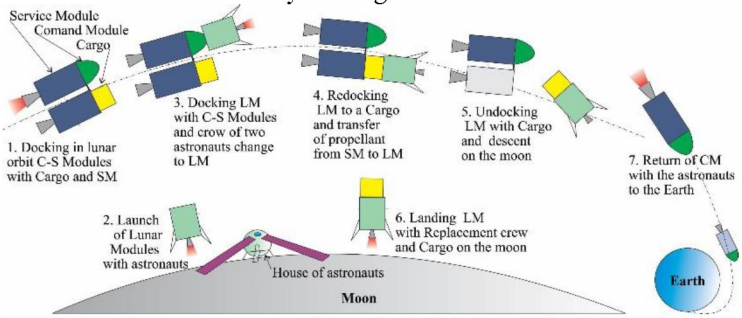
Energy rocket was a Soviet rocket that was designed by NPO Energia to serve as a heavy-lift expendable launch system as well as a booster for the Buran spacecraft. But in our project, we have new payload for it. Control system main developer enterprise was the NPO "Electropribor". The Energia used four strap-on boosters each powered by a four-chamber RD-170 engine burning kerosene/LOX, and a central core stage with 4 one-chamber RD-0120 (11D122) engines fueled by liquid hydrogen/LOX.

Lunar Booster

Firstly, It is necessary for our lunar booster to be used twice during a lunar mission: first to take the lunar module and service module into the low moon orbit, and then to send the command module and service module into it. Secondly, we choose our engine for our booster. Consider our payload is lower than Saturn V, so J-2 rocketdyne can meet our need of enough thrust.



a) The first expedition included the two launches with command and lunar modules and they docking on lunar orbit



b) The second and subsequent expeditions included the two launches with command and cargo modules and they docking on lunar orbit

Fig. 2. The expeditions of the lunar program

Lunar Module

The lunar module carries two astronauts from lunar orbit to the surface of the moon; serves as living quarters and a base of operations on the moon, and returns the two men to the CSM in lunar orbit. For our project, we are going to design a lunar module which is different from this one. For the ascent stage and descent stage, the whole module is integral so that we could recycle the whole module for next research and flight mission. Certainly, it will be lighter than Apollo's, since we will take the integral tanks, and we only need one engine. It could save more time for our study and more funds.

Service Module

The service module contains the main spacecraft propulsion system and supplies most of the spacecraft's consumables (oxygen, water, propellant). The major subsystems of service module are electrical power system, environmental control system, reaction control system, service propulsion system and telecommunications system. Our project will use solar cells instead of fuel cells. So we won't need tanks to take the oxygen and hydrogen for fuel cells, which are much dangerous. Also, the intergral tanks could reduce the mass for our service module. It's quite different from Apollo.

Command Module

For our project, we are going to use the same command module as Apollo. The command module is the control center and living quarters for most of the lunar mission; two men will spend the entire mission in it and the other two will leave it only during the lunar landing. It is the only part of the spacecraft recovered at the end of the mission.Another main design of our project is the parachute system of the command module. It is an important part to ensure the safe of the crew in return.

Conclusion

From this project, we have talked all the parts of the system about the lunar program. We have much experience from the Energia-Buran system and Apollo program, but we also have our own ideals about the transport system. They have formed some contrasts that may help us to think more about the new program.

Literature

1. Gubanov B.I. "Triumph and the tragedy of "Energia". Reflections of the Chief Designer. "N.Novgorod: Publishing house of the Nizhny Novgorod Institute of Economic Development", 1998. (In Russian)

2. Bart Hendrickx, Bert Vis. Energiya-Buran. The Soviet Space Shuttle. ISBN 978-0-387-60848-9. 2007. 523 p.

3. Saturn S-IVB, Apollo Saturn, Archived from the original on 19 August 2012.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ ТРАНСПОРТНОЙ

СИСТЕМЫ ЛУННОЙ ПРОГРАММЫ

Лиу Жун, Чан Кон
Научный руководитель: А.С. Кретов, д.т.н., профессор
(Нанкинский университет аэронавтики и астронавтики, г. Нанкин)

Рассмотрен концептуальный проект транспортной системы для полета на Луну. В качестве основы была принята универсальная ракетно-космическая транспортная система Энергия, разработанная под руководством Б.И.Губанова, которая имела два успешных запуска в 1987 и 1988 годах.

УДК 536:629

HEAT TRANSFER ANALYSIS OF CURVED-CREASE FOLDED STRUCTURES UNDER FORCED CONVECTION

Hou T.J.
Scientific Supervisor: Z.J. Wang, Ph.D, professor
(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing)

Curved-crease folded core sandwich panel with open cellular design allows fluid transport between the cores and face sheets, which enables simultaneous load bearing and heat dissipation. In this paper, a simplified 3-D coupling model of curved-crease folded core sandwich panel was established using periodic boundary conditions, then the influence of heat transfer characteristics under forced convection is analyzed.

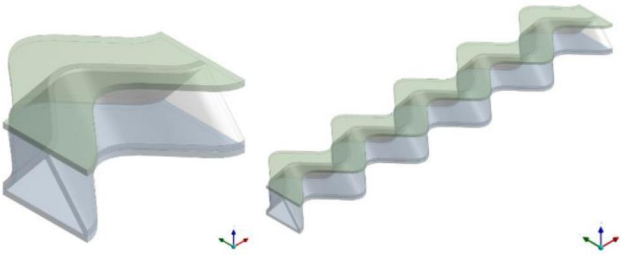
Introduction

Space vehicles encounter severe aerodynamic heating and pressure loads during ascent and re-entry. Thermal protection systems (TPS) are therefore required to maintain the underlying structural temperature within acceptable limits. Corrugated core sandwich structures have been proposed for ITPS due to the favorable strength-to-weight ratio and good manufacturability. At present, most research on folded core structures focuses on its acoustic, mechanical and impact properties, while little work exists on its capacity for potential thermal protection.

Curved-crease folded structures differs from straight-crease folded structures, in that the folded surface of the pattern is bent during the folding process. Current studies of curved-crease folded structures have been conducted, which shows many superiority of the mechanical performance of curved-crease over straight-crease folded structures. In this paper, a simplified thermal model is used in the numerical simulation of heat transfer analysis of curved-crease folded structures under forced convection. Then the velocity field and temperature field are obtained. The influence of curved-crease folded structural morphology on the flow and heat transfer characteristics was discussed.

Curved-crease Folded Structure Geometries

Curved-crease folded structures differs from straight-crease folded structures, in that the folded surface of the pattern is bent during the folding process. The parameters of the simplified thermal model are defined in Fig. 1. (a).



a) b)

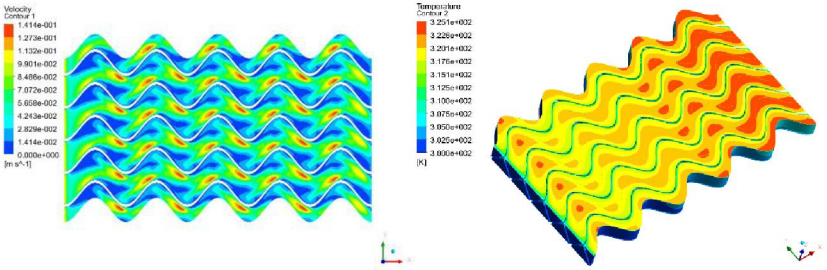
Fig. 1. (a) - 1 period of curved-crease folded core sandwich panel
(b) - 5 periods of curved-crease folded core sandwich panel in direction Y

In this study, aluminum alloy is chosen for the face sheet and folded core web. Water is chosen for the fluid flow.

Heat Transfer Analysis

The CFD software FLUENT is used in the whole-field dispersed and solved temperature field simulation. To reduce the computational work, considering the periodic flow passages between the cores and face sheets, five periods in direction Y of curved-crease folded sandwich panel is chosen for simulation (Fig. 1. (b)).

When undergoing the conjugate heat transfer simulation in FLUENT, the general controlling-equations (the Reynolds-averaged Naiver-Stokes equations) are discretized in both fluid domain and solid domain. The standard two-equation turbulence RNG k-ε model is employed for turbulent closure. Impose constant heat flux $q=100000 W/m^2$ on the top face sheet. The inlet coolant in direction X is set as inlet velocity boundary conditions, the inlet coolant temperature $T_0 = 300K$, velocity $u_0 = 0.1$ m/s; the outlet pressure boundary conditions is set as 0 pressure. And the Y direction side face is set as periodic boundary conditions; the solid/fluid interface is set as Coupled non-slipping, thermal coupling boundary conditions.



a) b)

Fig. 2. (a) - The velocity field of curved-crease sandwich panel
(b) - The temperature field of curved-crease sandwich panel

To make the results more intuitive, Fig. 2. (a) shows the velocity field of 5 periods of folded core sandwich panel along direction Y. The figures show that, as the coolant flows along direction X, the velocity of the flow constantly changes owing to the interference and hindrance of face sheets and fold cores. Simultaneously, the periodic arrangement of the structure in direction X brings about the periodic variation of the velocity field.

The temperature field of the structure and the coolant is shown in Fig 2. (b). In the figure, heat is transferred from the top face sheet, this is due to the existence of the temperature gradient. The temperature of the sandwich panel and the coolant increases gradually along the flow direction. Besides, the permeation of the thermal load gradually deepens, but the rate of deepening gradually slows. This is because that the coolant in the downstream has been heated in the upper stream. The location of the minimum local temperature occurs on the heels of the deflection of folded core, and the location of the maximum local temperature occurs in the rear of the half cell. Also, much of the coolant temperature stays low, which indicates that the availability of the coolant can be improved.

The detailed analysis will be shown in the main text of the paper.

Conclusion

The results show that, the heat transfer performance is evidently improved under forced convection; the coolant velocity varies periodi-

cally with the geometrical construction and reaches the maximum value close to the peak position; the temperature increases along the flow direction and presents a periodic fluctuation; and the overall heat transfer performance increases with the inlet velocity.

АНАЛИЗ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ СКЛАДЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ КОНВЕКЦИИ

Хоу Т.Ц.
Научный руководитель: Ч.Ц. Ван, доктор наук, профессор
(Нанкинский университет аэронавтики и астронавтики, г. Нанкин)

Рассматривается сэндвич-панель открытой сотовой конструкции, обеспечивающая восприятие нагрузок и охлаждение с помощью циркулирующей жидкости. Предлагается упрощенная трехмерная модель с использованием периодических граничных условий для анализа влияния характеристик теплопередачи при конвекции.

УДК 629.78

DYNAMICS PROPERTY ANALYSIS OF FLEXIBLE SOLAR ARRAY BASED ON THE DYNAMIC SUBSTRUCTURE METHOD

Yu Han
Scientific Supervisor: Z.J. Wang, Ph.D., professor
(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing)

In this paper, a method of dynamic substructure was proposed. The substructure models of the flexible solar array truss and flexible array plane are established respectively for dynamic property analysis. The results show that the dynamic substructure method can greatly improve the calculation efficiency, while ensure the precision.

Introduction

For the large-scale spacecraft system with complex structure, direct analysis of finite element method costs much time. In addition, the requirements of computer hardware may be too high to analyze its finite element model. For getting the dynamics property of solar array accurately and apace, the dynamic substructure method can be used to reduce the normal mode to improve calculation efficiency. In addition large-scale structures composed of periodic repeating units are extensively applied in aerospace product, such as deployable loop antenna, solar array and so on. For these structures, only the stiffness matrix of the basic repeating structure is needed to integrate the global stiffness matrix, which reduces the time of analysis as well.

In the 1960s, based on the Rayleigh-Ritz method, Hurty and Gladwell Established the concept of modal coordinates and the component mode synthesis method, which laid a foundation for the improvement of the dynamic substructure method. Thereafter Craig and Bampton simplified the method and made it more practical. This is the fixed interface component mode synthesis which is widely applied in the field of aerospace engineering.

The basic idea of the dynamic substructures method is revise and then recover. Under certain principles, a large-scale and complex struc-

ture is divided into several substructures. After calculating the normal mode and constrained mode of substructure, the modal information of higher orders should be omitted, and then the equation of the whole system is integrated for dynamic analysis.

Modeling

As shown in Fig. 1, the flexible solar array is mainly composed of the rigid central truss, flexible array planes, cabinets, the collection tube and the lifting mechanism. The ends of the lifting mechanism are respectively connected to the capsule and the collection tube. The truss spreads from the collection tube and connects with four cabinets by rigid material. The flexible array planes are tensioned between cabinets through ropes.

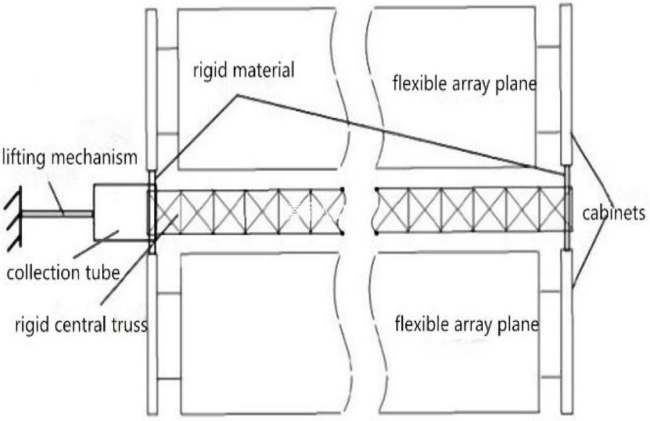


Fig. 1. The structure diagram of the flexible solar array

The main components of the solar array are the rigid central truss and flexible array planes. As shown in Fig. 2, the central truss has 36 periodic repeating units composed of transverse beams, longitudinal beams and gradient bar. As shown in Fig. 3, the array planes are tensioned between cabinets through ropes. Based on substrates, the array plane is divided into 4 blocks. Cables are arranged in area 1 and 3, while solar cells are affixed in area 3 and 4.

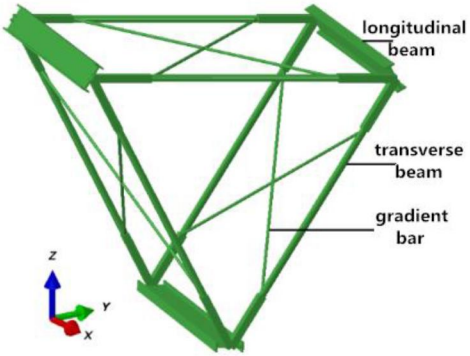


Fig. 2. The structure diagram of the central truss unit

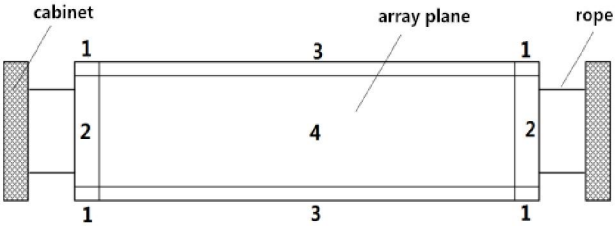


Fig. 3. The structure diagram of the flexible array plane

Conclusion

Combined with the substructure analysis function in commercial engineering software Abaqus, a method of dynamic substructure was proposed for analysis of the flexible solar array. To verify the accuracy of the dynamic substructure method, the substructure models of the solar array truss and flexible array plane are established respectively for dynamic analysis. As shown in the results, the dynamic substructure method can greatly improve the calculation efficiency, while ensure the precision.

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИБКИХ ПАНЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОДКОНСТРУКЦИИ

Ю Хан
Научный руководитель: Ч.Ц. Ван, доктор наук, профессор
(Нанкинский университет аэронавтики и астронавтики, г. Нанкин)

Предложен метод динамической субструктуры. Для динамического анализа свойств устанавливаются модели подструктуры гибкой решетки солнечных элементов и гибкой плоскости массива. Результаты показывают, что метод динамической подструктуры может значительно повысить эффективность расчета, а также обеспечить точность.

УДК 532.51

AIRCRAFT WITH AIR-CUSHION CHASSIS: HISTORY, CURRENT STATE AND PROSPECTS

***Zhang Cong*[1]**
Scientific Supervisors: ZhiJin Wang[1], PhD, professor
Victor Morozov[2], candidate in engineering, associate professor,
(1-Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing,
2-Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod)

This paper shows the development of aircraft with air-cushionchassis. By introducing some of those aircraft, advantages and disadvantages of the scheme are analyzed. Many characteristics of the scheme show that it has a promising future.

1. Introduction

In the early years, people chase speed in sail enthusiastically and lead to many interesting concepts. The amphibious hovercraft (ACV), which is supported by air cushion, is one of them. Earlyin 1870,a British engineer, Sir John Thorneycroft,conducted research and model tests, eventuallyled to a patent on the air-cushion vehicle concept in 1887. And similar works had been done in many countries till 1950. Then, Sir Christopher Cockerell made the theory into a practical ACV. ACV shows many positive characteristics, and in order to use those characteristics, engineers come up to the idea of air-cushion chassis (ACC).

As a product of air suspension system, ACC supports aircraft by a cushion of air trapped between ground and underside of the aircraft, instead of conventional landing gear. A resulted low ground pressure, gives the aircraft an ability to operate on a soft surface and even water.

ACC attracts many interests around the world. Several aircraft was built under the theory of ACC, and in the future ACC will take a place in the industry because of its unique feature.

2. Scheme of Air-cushion (AC)

There are several schemes of ACC characterized by the way they form the AC:

1) AC formed by jet from nozzles (Fig.1), it is characterized by

supplying air to the air-cushion chamber through the nozzles, which is a peripheral, closed-loop air-cushion device. The jet of air is supplied to the chamber through aligns of nozzles, which located around perimeter of the air-cushion chamber at an angles. Peripheral jet maintains over-pressure by momentum "seal", which is a consequence of the equilibrium between thepressure differential across the jet and the centrifugal forces in the curved jet airflow.Pressure in the cushion is maintained by this air curtain seal.Theoretically, this kind of scheme has minimal energy costs compared to other air-cushion schemes, but it require a long air ducts and complex devices to seal gaps between the cushion and ducts, which significantly increase the weight of airplane. With the appearing of flexible skirt, the long and complex ducts through the entire structure had been disappeared.

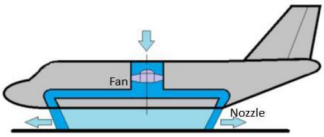


Fig. 1.ACformed by jet from nozzles

2) AC formed by flow, it is different from the nozzle scheme in that the air is guided under the air-cushion dome, mainly from the bow toward the stern of the dome (tail section of a plane) .The air-cushion zone is formed by elastic skirt, or rigid shields, fence (without front fence), sides and tail part. Flow from the nose area of the aircraft is benefit to simplify the design of the air ducts, according to the expert; it is possible to reduce the overall drag of the air-cushion system. Fig.2 shows two form of this scheme.

a)-using air curtain *b)*-jet from the engine

Fig. 2. ACformed by flow

3) AC formed by plenum chamber (Fig.3), it is characterized by

supplying air through one or more holes located directly on the dome of the chassis, and different fromway thatperipheral jet uses to maintain overpressure, plenum chamber uses flow restriction. Such a scheme is simpler and more convenient in layout.

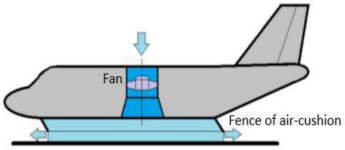


Fig. 3. AC formed by plenum chamber

4)AC formed without chamber (Fig.4), it is also called air lubrication, in which air comes out from a pneumatic balloon through hundreds or thousands of openings under the base of a balloon, there is not clear definition to this kind of air-cushion.But, there are several patents aboutits elastic skirts located in the bottom, which are used to reduce friction by supplying compressed air through a number of holes in the bottom of the bags. Based on this scheme, various trolleys are created to move heavy load.

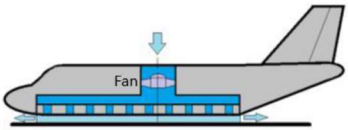


Fig. 4. Air lubrication scheme

3. History of Aircraft with Air-cushion Chassis (AACC)

Since the value of ACC is noticed by engineers all over the world, there are more than 20 aircrafts appear equipping with ACC.

3.1 USSR/Russia

It is well known that the first aircraft using the theory of AC is UT-2 in 1939 designed by N.I. Nadiradze and A.D. Efremov(Fig.5), the ACC is formed by rubber cylinders; in the middle of which lifting fan systems were installed.

Fig. 5. UT-2

In 1970, An-714, which was modified from An-14, was appeared.Similar to UT-2, An-714 used three air cylinders toroidal structure as chassis system, on the top of each cylinder, a rotor providing high pressure in the cylinder is mounted. Later in 1983, those cylinders were replaced by an integral flexible chamber to achieve a better performance, which is known as AN-714sh (Fig.6).

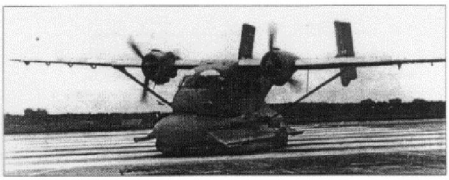


Fig. 6. An-714sh

In the late 80's in USSR, the "early alignment principle" considering features of ACwith basis aerodynamic arrangement and its effect on aircraft performance, was proposed to decrease the negative impact on conceptual stage. The mentioned principle allowed cutting weight and aerodynamic substantial loss, retaining high operational performance of aircraft.

The world's first aircraft 'Dingo' (Fig.7), considering compatibility between ACC and aerodynamic layout in the concept stage usingscheme of plenum chamber.To support the 'Dingo' program, significant amount of researches was performed and more than 19 models were built and tested in association with TsAGI and other institutes. The project was successfully achievedwith the instructionof TsAGI.

Fig. 7. Aircraft Dingo

1990s witness the appearance of an uniquehybrid aircraft—ESTOLAS (Fig.8). It attracted many attentions because it uses high-lift airfoil like airplane, ring-shaped fuselage filled with helium like airship and central section inlet and AC like hovercraft.

Fig. 8. ESTOLAS

In recently years, there are still some recreation craft projects equipping with ACC.

3.2 western country

Seeing the potential of ACV and its possibility to using in the aircraft, U.S. Air Force Flight Dynamic Laboratory initiated a series of studies with Bell Aerospace Company. A basic concept cater the usage of aircraft was evolved. For example, instead of the single peripheral jet used on most ACV, they support using a distributed jet nozzle system, incorporated in the elastic trunk, which retract onto fuselage to reduce the drag during flight, providing air curtain between trunk and ground. After feasibility study, USA together with Canada in 1974, carried out Lake-4 (Fig.9) equipping ACC, this project demonstrated the unique characteristic of operating routinely on snow, ice and rough terrain, even under high crosswind condition.

Fig .9. Lake-4

After successful experiment of Lake-4, they wanted to equip AC to an 18 ton aircraft 'Buffalo' without interference the basic aircraft configuration or function, and leaded to XC-8A project in 1983 (Fig.10).

Fig. 10. XC-8A

XC-8A has many innovative design characters. The break system is consisted of separate inflatable pillows located at bottom of ACC. When inflated, the section between pillows is forced up, resulting decrease of pressure in the chamber and transferring a large portion of weight to the brake surface. Other systems, such as flow supply system, were very unique in that age.

Unfortunately, although XC-8A project got manyvaluable information, such as operational performance, maintenance and training, there is no other project relate to ACC.

4. Characteristic and Prospect of AACC

Research shows that ACC does increase the drag of aircraft which has an influence to the range of aircraft when it is operating with maximum payload and the weight of ACC is heavier than conventional landing gear. However, this drag penalty can be offset by increasing the limitation of gross weight because of distributed load pattern of AC, so does mass ratio of ACC.

Research also show that with the capability to operate on unde-

veloped airdrome, cost of one flight hour of AACC is much less than helicopters and hydroplanes.

All in all, AACC attract attention of some people than other types of aircraft by following reasons:

1. Capability to take-off and landing on different-surface grounds (ground, snow, water, mixed surfaces, etc.) without any limitations on surface firmness and rough;
2. Capability to land on waters with uncertain depths including submerged regions and enter the shore front without concrete slipway;
3. High operation capability to perform regular and various transport tasks with minimal dependence on weather conditions and aerodrome supply level.

But, in the same time, some disadvantageslimit its usage:

1. Complicated structure;
2. Significant effect on aerodynamics;
3. Higher cost comparably to wheel landing gear;
4. High maintenance costs.

Nowadays, new idea is that,ACC is considered at initial stage of the aircraft design.It is different from idea of modification from some prototype, andthere are many new requirements needed to be complied:

1. Transverse and longitudinal stability ensuring safe maneuvering during taxiing on all types of runway surfaces, including water
2. Sufficient controllability for taxiing, take-off and landing
3. Ability to Safely takeoff,and landing on water under given external conditions
4. Unsinkability in emergency landing on the water
5. Providing protection to the engine, equipment and cargo (passengers) under specified operating conditions (icing, clogging of air intakes, drainage holes, damage to fuel systems, control systems, etc.)
6. Reliabilityof system at given operating conditions (in case of possible damage and failure)

From characteristic mentioned above, AACC take a seat in the need of following condition in the future:

1. Provide connection between regular aerodromes and distant regions, such as oil field;
2. Form stable commercialaviation transport service for area with

less-developed aerodrome network;

3. Play a special role in arctic exploration, coast rescue and scientific research.

Reference

[1] Y Liang,Theory& Design of Air Cushion Craft, [M], Elsevier, Oxford, 2005.

[2] David J. Perez, William A. Benner, Development of An Air Cushion Landing System, [R], AIAA 5th Aircraft Design, Flight Test and Operations Meeting, August 1973.

[3] Demeshko G.F., Designing of Amphibious ships on an air cushion, [M] , Department of Shipbuilding and Aircraft Engineering, 1992. (In Russian)

[4] Kolesnikov G.A., Markov V.K., Mikhailuk A.A., and others Aerodynamics of aircraft. [M] Textbook for high schools on the specialty "aircraft construction".,544 p.(In Russian)

[5] Hayward L. The History of Air Cushion Vehicles, [M], Kalerghi-Mcleavy Publications,1963.

[6] Yun L, Ju ZX, Huang WJ. Hovering Characteristic and Experimental Investigation of Two Dimensional Bag-Finger Type Skirt,[R], MARIC report,1975 (In Chinese) 1993

[7] Khanzhonkov, Calculated Parameters of Air-Cushion Devices with NozzleDeviceat Hovering Condition, [M], Translation by Institute of ForeignTechnology, 15 Jan 1968.

[8] Boehler G. D., Aerodynamic Theory of the Annular Jet, [M], Institute of Aerospace Sciences, IAS Report 59-77, Jan 1959.

[9] Perez D. J., Implications of Air Cushion Landing System on STOL Aircraft,[R], AFFlight Dynamics Laboratory, 1969

[10] T. Desmond Earl, Air cushion landing gear feasibility study, [M], 1967.200p.

САМОЛЕТЫ С ШАССИ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ: ИСТОРИЯ, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

***Чан Кон*[1]**

ПОДСЕКЦИЯ 1.1. АЭРОДИНАМИКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Научные руководители: Ч.Ц.Ван[1], доктор наук, профессор,
В.П. Морозов [2], к.т.н., доцент
(1-Нанкинский университет аэронавтики и астронавтики, г. Нанкин, 2-Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)

В работе показано развитие самолетов с шасси на воздушной подушке. Анализируются преимущества и недостатки самолетов с таким типом шасси. Из приведенного анализа следует, что такие самолеты имеют многообещающее будущее.

629.7.025

A BRIEF STRUCTURAL ANALYSIS OF VERTICAL AND HORIZONTAL STABILIZERS WITH DIFFERENTIALLY SET SPLIT RUDDER AND ELEVATOR

Bazuhair M.A.
Supervisor: E. Pershin
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

This paper describes the spanwise load distribution on conventional vertical and horizontal stabilizers with differentially set split rudder and elevator for increasing aircraft drag during landing run. It is proven that configuration items of the empennage are capable of withstanding the periodical loads safely.

The main function of the vertical and horizontal stabilizers yet remains to act as aerodynamic surfaces, typically including one or more movable control surfaces that provide longitudinal (pitch) and/or directional (yaw) stability and control, Fig.1. To achieve the best performance and reliability for big aircrafts, these control surfaces are commonly designed in the form of split rudder and elevator. Each section of the latter may be set separately up to 30° degrees. If differentially set with 30°-45° degrees during the landing run, aerodynamic computational analysis shows a 3.3-4.3% reduction range of the landing run distance merely due to the increased aircraft drag.

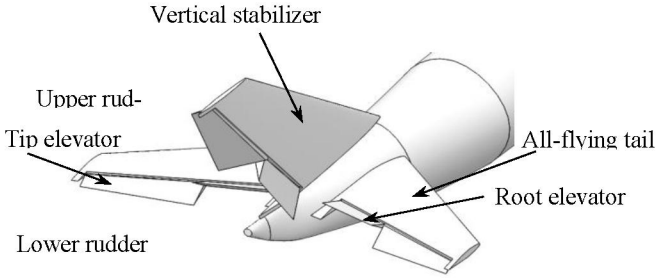


Fig. 4. Aircraft tail parts.

In this paper, we estimate, in the first approximation, the load distribution of differential aerodynamic forces along the spans of vertical and horizontal stabilizers during the landing run. The outcome should reveal wither this new configuration of the control surfaces will overload the primary structure of the vertical and horizontal stabilizers or not. The analysis is conducted on the all-flying tail and vertical stabilizer of the Russian jetliner Il-86 with the following dimensions [1]:

Tab. 1

Geometrical dimensions of the vertical and horizontal stabilizer

Dimension	Horizontal stabilizer	Vertical stabilizer
Area, m^2	96.5	56.06
Area of the elevator, m^2	15.89	16.27
Span, m	9.07	8.52
Aspect ratio	4.36	1.3
Taper ratio	3.41	2.5
Length of the root chord, m	7.26	9.4
Length of the tip chord, m	2,12	3.76
Dihedral	5°	-
Relative maximum thickness	10%	10.5%
Sweepback of quarter chord line	37°30'	45°

According to the conducted aerodynamic analysis within the framework of this project, the maximum intensity of spanwise loading of Il-86 the all-flying tail during a standard landing of Il-86 jetliner, i.e. normal weather conditions, reaches 2.87kN/m and -0.67kN/m for the vertical stabilizer. This creates the presented cutting forces and bending moments in Fig.2-3.

The differential setting of upper and lower rudders according to $\delta_{ur} = -\delta_{lr}$ and root and tip elevators $-\delta_{re} = -\delta_{te}$ with 15°, 30° or 45° distorts the uniform spanwise loading in Fig.2-3 by splitting it into oppositely distributed loads. If the upper rudder is declined clockwise, while the lower rudder is against, the spanwise loading becomes redistributed so that it creates the represented cutting forces and bending moments in Fig4-6.

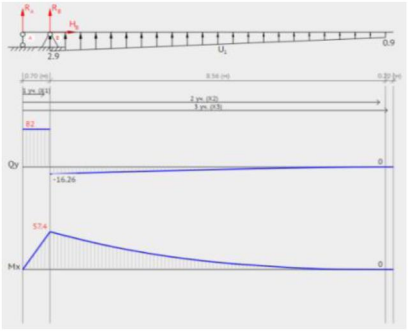


Fig. 5. The spanwise loading of Il-86 all-flying tail

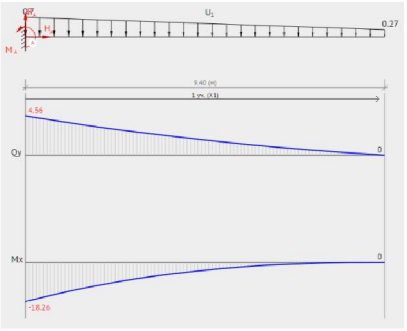


Fig. 6. Spanwise loading of Il-86 vertical stabilizer

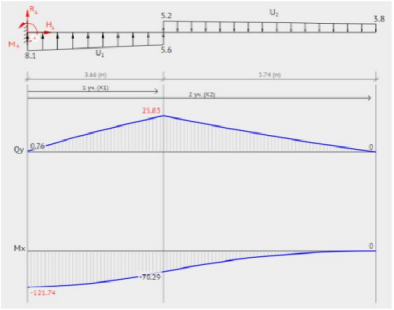


Fig. 7. Spanwise loading of Il-86 vertical stabilizer for $\delta_h = 15°$

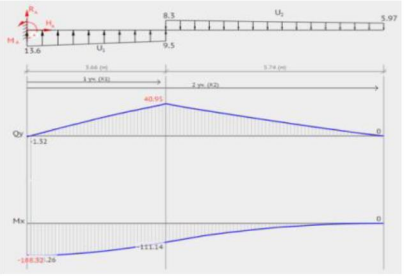


Fig. 8. Spanwise loading of Il-86 vertical stabilizer for $\delta_h = 45°$

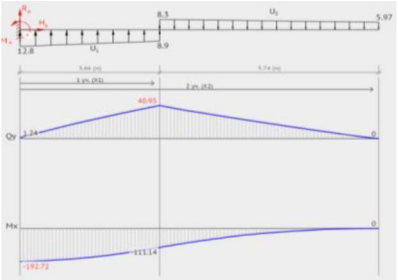


Fig. 9. Spanwise loading of Il-86 vertical stabilizer for $\delta_h = 30°$

For the horizontal stabilizer, root elevator is declined upward, while tip elevator downward. Accordingly, spanwise loading is redistributed and so do cutting forces and bending moments as shown in Fig.6-9.

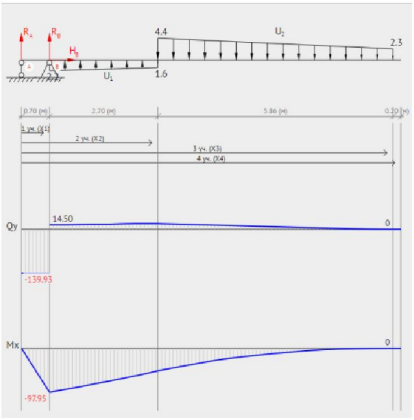


Fig. 10. Spanwise loading of Il-86 horizontal stabilizer for $\delta_h = 15°$

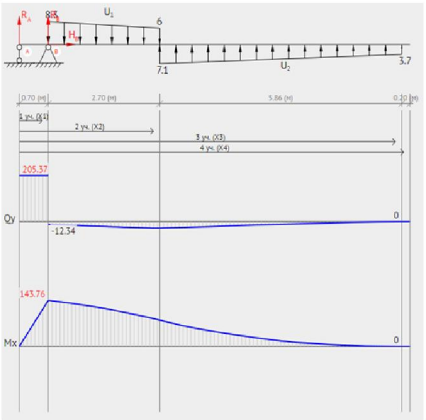


Fig. 11. Spanwise loading of Il-86 horizontal stabilizer for $\delta_h = 30°$

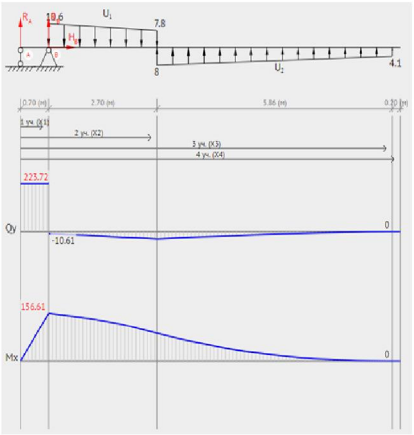


Fig. 12. Spanwise loading of Il-86 horizontal stabilizer for $\delta_h =$

As shown in Fig.4-9, the maximum cutting force at $\delta_r = \delta_e = 45°$ is –223.71kN for the all-flying tail and 40.95kN for the vertical stabilizer. Consequently, the maximum bending moment is -156.6kN/m for the all-flying tail and –188.72kN/m for the vertical stabilizer. These results are obtained for a landing speed of 250 km/h.

To estimate whether tail configuration items will withstand the resultant loads without going into detailed structural analysis, in the first approximation, we can implement a comparable analysis method. If created spanwise loadings on horizontal and vertical stabilizers at maximum cruise speeds are tolerable, since aircraft control surfaces are designed to carry them, the comparable weak spanwise loading during the landing run should be as well. In this context, considering that Il-86 flies with maximum cruise speed of 900 km/h, it is found that the maximum intensity of the horizontal stabilizer spanwise loading during cruise flight increases to 89.5kN/m, i.e. 32 times more, and –5.25kN/m, almost 8 times more, for the vertical stabilizer. Obviously, it is concluded that tail parts will safely carry spanwise loading by the differential setting of split rudder and elevator.

In result, we conclude the applicability of the proposed aerodynamic landing run reduction method by the differential setting of split rudder and elevator from the perspective of the structural reliability and safety. Curranty, a further deep structural analysis using finite-element method with ANSYS Mechanical platform is under development.

Список литературы

1. Bekhtir V. P. Prakticheskaya aerodinamika samoleta Il-86. Ul'yanovsk: tsentr GA SEV, 1991.– 135 s.

КРАТКИЙ АНАЛИЗ НА ПРОЧНОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО И ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОПЕРЕНИЯ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ ОТКЛОНЕНИИ ИХ ДВУХСЕКЦИОННЫХ РУЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ И ВЫСОТЫ

Базухаир М.А.

Научный руководитель: Е.А. Першин
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Данная работа описывает распределение нагрузки по размаху вертикального и горизонтального оперения, оснащенного двухсекционными дифференциально отклоненными для повышения лобового сопротивления самолета рулями высот и направления. Показано, что элементы силовой конструкции способны выдержать периодические результирующие нагрузки безопасно.

629.7.025

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОМЕНТОВ ОТ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО ОТКЛОНЕННЫХ ДВУХСЕКЦИОННЫХ РУЛЕЙ ВЫСОТЫ И НАПРАВЛЕНИЯ

Базухаир М.А.
Руководитель: Е.А. Першин
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Представлены уравнения расчета моментов по тангажу, крену и рысканию, вызванных дифференциально отклоненными секциями рулей направления и высоты для параллелограммных и трапециевидных форм в плане.

Прирост крейсерской скорости полета самолетов сопровождался увеличением потребных управляющих моментов для обеспечения устойчивости и управляемости самолета. Вместе с этим также увеличилась сложность системы управления. На тяжелых самолетах устанавливаются секционированные рули управления для усовершенствования летно-технических характеристик путем улучшения управляемости и повышения надёжности.

Двухсекционные рули высоты и направления служат для обеспечения оптимальной управляемости тяжелых самолетов на больших скоростях полета [1]. Как правило, каждая секция рулей оперения может быть отклонена в независимости от соседней секции. В случае дифференциального отклонения секций рулей высоты и направления в разные стороны, что служит для увеличения лобового сопротивления самолета при пробеге, появляется боковой момент, т.е. кренящий момента, в сторону направления вектора боковой силы от верхней секции. Это связано с тем, что момент верхней секции руля направления больше момента нижней секции из-за разности плеч от оси *Ox* связанной системы координат до центров характерных площадей каждой секций.

Для расчета коэффициента бокового момента $m_x^{\delta_н}$, вызванного дифференциальным отклонением двухсекционного руля направ-

ления (ДСРН) разнотипных оперений на угол $\delta_{\text{н}}$, мы выводим нижеприведённые математические формулы. Отметим, что геометрические и аэродинамические переменные и константы были индексированы по общему виду ($j.k$), где «j» обозначает руль высоты сокращенный на (в.) или руль направления - (н.), а «k» обозначает расположение установленных секций на (в.) или (н.) относительно оси Ox связанной системы координат по следующему порядку сокращений: правая/левая– пр/л, бортовая/концевая – б/к и нижняя/верхняя – н/в. К примеру, индекс «н.н» под $\delta_{\text{н.н}}$ читается: «угол нижней секции руля направления».

Запишем коэффициенты $m_x^{\delta_{\text{н}}}$, $m_y^{\delta_{\text{н}}}$ и $m_z^{\delta_{\text{н}}}$ для ДСРН в развернутом виде следующим образом:

$$m_x^{\delta_{\text{н}}} = \pm C_{zBO}^{\delta_{\text{н.в}}} k_{BO} n_{\text{н.в}} \delta_{\text{н.в}} \bar{y}_{\text{н.в}} \pm C_{zBO}^{\delta_{\text{н.н}}} k_{BO} n_{\text{н.н}} \delta_{\text{н.н}} \bar{y}_{\text{н.н}},$$

$$m_y^{\delta_{\text{н}}} = \pm C_{zBO}^{\delta_{\text{н.в}}} k_{BO} n_{\text{н.в}} \delta_{\text{н.в}} \bar{x}_{\text{н.в}} \pm C_{zBO}^{\delta_{\text{н.н}}} k_{BO} n_{\text{н.н}} \delta_{\text{н.н}} \bar{x}_{\text{н.н}},$$

$$m_z^{\delta_{\text{н}}} = C_{xBO}^{\delta_{\text{н.в}}} k_{BO} n_{\text{н.в}} \delta_{\text{н.в}} \bar{y}_{\text{н.в}} + C_{xBO}^{\delta_{\text{н.н}}} k_{BO} n_{\text{н.н}} \delta_{\text{н.н}} \bar{y}_{\text{н.н}},$$

Аналогично, запишем коэффициенты $m_x^{\delta_{\text{в}}}$, $m_y^{\delta_{\text{в}}}$ и $m_z^{\delta_{\text{в}}}$ для ДСРН в развернутом виде следующим образом:

$$m_x^{\delta_{\text{в}}} = \pm \left(C_{y\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.прб}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.прб}} \delta_{\text{в.прб}} \bar{z}_{\text{в.прб}} + C_{y\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.прк}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.прк}} \delta_{\text{в.прк}} \bar{z}_{\text{в.прк}} + C_{y\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.лб}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.лб}} \delta_{\text{в.лб}} \bar{z}_{\text{в.лб}} + C_{y\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.лк}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.лк}} \delta_{\text{в.лк}} \bar{z}_{\text{в.лк}} \right),$$

$$m_y^{\delta_{\text{в}}} = \pm \left(C_{x\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.прб}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.прб}} \delta_{\text{в.прб}} \bar{z}_{\text{в.прб}} + C_{x\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.прк}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.прк}} \delta_{\text{в.прк}} \bar{z}_{\text{в.прк}} + C_{x\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.лб}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.лб}} \delta_{\text{в.лб}} \bar{z}_{\text{в.лб}} + C_{x\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.лк}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.лк}} \delta_{\text{в.лк}} \bar{z}_{\text{в.лк}} \right),$$

$$m_z^{\delta_{\text{в}}} = \pm \left(C_{y\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.прб}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.прб}} \delta_{\text{в.прб}} \bar{x}_{\text{в.прб}} + C_{y\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.прк}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.прк}} \delta_{\text{в.прк}} \bar{x}_{\text{в.прк}} + C_{y\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.лб}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.лб}} \delta_{\text{в.лб}} \bar{x}_{\text{в.лб}} + C_{y\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.лк}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.лк}} \delta_{\text{в.лк}} \bar{x}_{\text{в.лк}} + C_{x\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.прб}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.прб}} \delta_{\text{в.прб}} \bar{y}_{\text{в.прб}} + C_{x\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.прк}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.прк}} \delta_{\text{в.прк}} \bar{y}_{\text{в.прк}} + C_{x\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.лб}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.лб}} \delta_{\text{в.лб}} \bar{y}_{\text{в.лб}} + C_{x\text{ГО}}^{\delta_{\text{в.лк}}} k_{\text{ГО}} n_{\text{в.лк}} \delta_{\text{в.лк}} \bar{y}_{\text{в.лк}} \right),$$

где $C_{zBO}^{\delta_{j.k}} = \frac{C_{zBO}}{\delta_{j.k}}$, $C_{xBO}^{\delta_{j.k}} = \frac{C_{zBO}}{\delta_{j.k}}$, $C_{y\text{ГО}}^{\delta_{j.k}} = \frac{C_{y\text{ГО}}}{\delta_{j.k}}$, $C_{x\text{ГО}}^{\delta_{j.k}} = \frac{C_{x\text{ГО}}}{\delta_{j.k}}$ – производные от коэффициентов поперченной, подъемной сил и силы лобового сопротивления ВО и ГО из-за дифференциального отклонения ДСРН и ДСРВ по углам $\delta_{j.k}$; $k_{BO} = \frac{q_{BO}}{q}$ и $k_{\text{ГО}} = \frac{q_{\text{ГО}}}{q}$ – коэффициен-

ты торможения потока в области секций ВО и ГО, равные отношению скоростному напору в области ВО или ГО, т.е. q_{BO} или $q_{\text{ГО}}$, к общему q для самолета; $n_{j.k} = \sqrt{\frac{S_{j.k}}{S}}$ – коэффициент относительной эффективности секций ДСРН и ДСРВ. Отметим, что $n_{\text{в}.k} = \sqrt{\frac{0{,}25S_{\text{в}}}{S}}$ и $n_{\text{н}.k} = \sqrt{\frac{0{,}5S_{\text{н}}}{S}}$, здесь $S_{\text{в}}$ и $S_{\text{в}}$ – площади рулей высоты и направления, соответственно. Для движения самолета со стояночным углом атаки $\alpha_{\text{ст}}$ при посадочной скорости $V_{\text{пос}}$ можно считать k_{BO} равномерным по размаху ВО. Отношение $C_{zBO}^{\delta_{\text{н.в}}} = C_{zBO}^{\delta_{\text{н.н}}}$ справедливо для параллелограммных ДСРН.

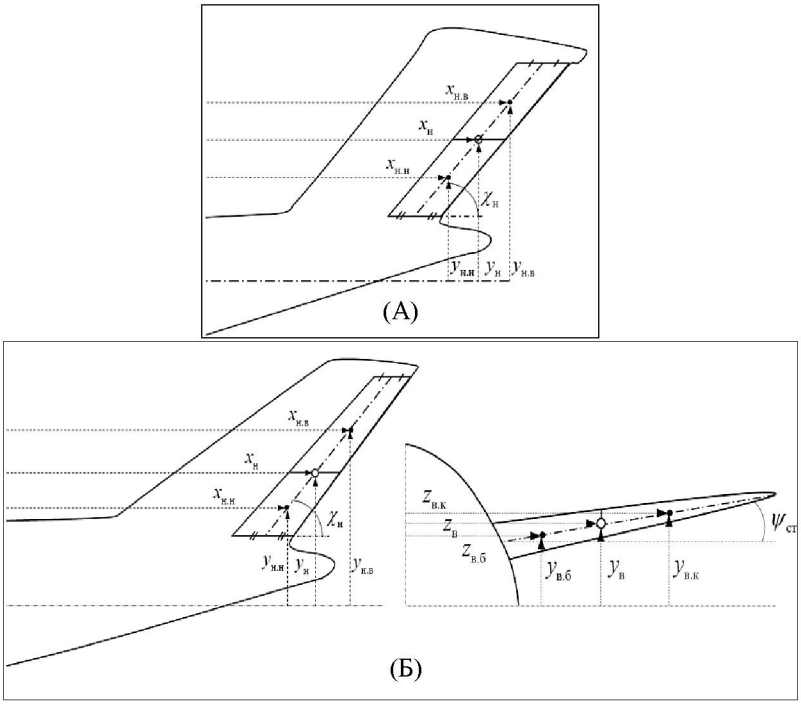


Рис.1. Фигуры и координаты ДСРН и ДСРВ, (А) параллелограммный ДСРН самолета С-17; (Б) трапециевидные ДСРН и ДСРВ самолета Ил-86

Чтобы определить относительные плечи моментов $\bar{x}_{j.k}$, $\bar{y}_{j.k}$ и $\bar{z}_{j.k}$ мы воспользуемся конструктивной особенностью ДСРН и ДСРВ, заключающейся в том, что$S_{\text{в}.k} = 0{,}25S_{\text{в}}$и $S_{\text{н}.k} = 0{,}5S_{\text{н}}$,. Далее, для вычисления геометрических центров давления (ДВ) секций на каждой оси координат связанной системы координат, т.е. $x_{j.k}$, $y_{j.k}$ и $z_{j.k}$, в первом приближении, предполагаем что ЦД равен геометрическому центру. Поэтому сначала находим площади отдельных геометрических стандартных фигур $A_{\text{н.в}\,i}$, $A_{\text{н.в}\,i}$, $A_{\text{в.б}\,i}$, $A_{\text{в.к}\,i}$, входящие в суммарную площадь каждой секции (рис.1). При этом ЦД рулей высоты и направления приняты как начальные точки локальной системы отчета. Полученные уравнения представлены в таб.1–2.

Таблица 1

Уравнения относительных плеч моментов для трапециевидных рулей управления

ДСРН	ДСРВ
$\bar{x}_{\text{н.в}} = \bar{x}_{\text{н}} + \frac{1}{b_A}\frac{\sum A_{\text{н.в}\,i}x_{\text{н.в}\,i}}{0.5S_{\text{н}}}$ $\bar{x}_{\text{н.н}} = \bar{x}_{\text{н}} - \frac{1}{b_A}\frac{\sum A_{\text{н.н}\,i}x_{\text{н.н}\,i}}{0.5S_{\text{н}}}$	$\bar{x}_{\text{в.к}} = \bar{x}_{\text{в}} + \frac{1}{b_A}\frac{\sum A_{\text{в.к}\,i}x_{\text{в.к}\,i}}{0.5S_{\text{в}}}$ $\bar{x}_{\text{в.б}} = \bar{x}_{\text{в}} - \frac{1}{b_A}\frac{\sum A_{\text{в.б}\,i}x_{\text{в.б}\,i}}{0.5S_{\text{в}}}$
$\bar{y}_{\text{н.в}} = \bar{y}_{\text{н}} + \frac{1}{l}\frac{\sum A_{\text{н.в}\,i}y_{\text{н.в}\,i}}{0.5S_{\text{н}}}$ $\bar{y}_{\text{н.н}} = \bar{y}_{\text{н}} - \frac{1}{l}\frac{\sum A_{\text{н.н}\,i}y_{\text{н.н}\,i}}{0.5S_{\text{н}}}$	$\bar{z}_{\text{в.к}} = \bar{z}_{\text{в}} + \frac{1}{l}\frac{\sum A_{\text{в.к}\,i}z_{\text{в.к}\,i}}{0.5S_{\text{н}}}$ $\bar{z}_{\text{в.б}} = \bar{z}_{\text{в}} - \frac{1}{l}\frac{\sum A_{\text{в.б}\,i}z_{\text{в.б}\,i}}{0.5S_{\text{н}}}$
–	$\bar{y}_{\text{в.к}} = \bar{y}_{\text{в}} + \tan(\psi_{\text{ст}})\,(\bar{z}_{\text{в.к}} - \bar{z}_{\text{в}})$ $\bar{y}_{\text{в.б}} = \bar{y}_{\text{в}} - \tan(\psi_{\text{ст}})\,(\bar{z}_{\text{в}} - \bar{z}_{\text{в.б}})$

где b_A – средняя аэродинамическая хорда крыла; $\psi_{\text{ст}}$ – угол поперечного V стабилизатора; $l_{\text{н}}$ – высота руля направления; $l_{\text{в}}$ – размах руля высоты.

Таблица 2

Уравнения относительных плеч моментов для параллелограммных рулей управления

ДСРН	ДСРВ
$\bar{x}_{\text{н.н}} = \bar{x}_{\text{н}} - \frac{l_{\text{н}}}{b_A}\tan(\chi_{\text{н}})$ $\bar{x}_{\text{н.в}} = \bar{x}_{\text{н}} + \frac{l_{\text{н}}}{b_A}\tan(\chi_{\text{н}})$	$\bar{x}_{\text{в.б}} = \bar{x}_{\text{в}} - \frac{l_{\text{в}}}{b_A}\tan(\chi_{\text{ст}})$ $\bar{x}_{\text{в.к}} = \bar{x}_{\text{в}} + \frac{l_{\text{в}}}{b_A}\tan(\chi_{\text{ст}})$
$\bar{y}_{\text{н.н}} = \bar{y}_{\text{н}} - \frac{l_{\text{н}}}{l}\tan(\chi_{\text{н}})$ $\bar{y}_{\text{н.в}} = \bar{y}_{\text{н}} + \frac{l_{\text{н}}}{l}\tan(\chi_{\text{н}})$	$\bar{y}_{\text{в.б}} = \bar{y}_{\text{в}} - \frac{l_{\text{в}}}{l}\tan(\chi_{\text{ст}})$ $\bar{y}_{\text{в.к}} = \bar{y}_{\text{в}} + \frac{l_{\text{в}}}{l}\tan(\chi_{\text{ст}})$
–	$\bar{z}_{\text{в.б}} = \bar{z}_{\text{в}} - \frac{(\bar{x}_{\text{в}} - x_{\text{в.б}})}{\tan(\psi_{\text{ст}})}$ $\bar{z}_{\text{в.к}} = \bar{z}_{\text{в}} + \frac{(\bar{x}_{\text{в}} - x_{\text{в.к}})}{\tan(\psi_{\text{ст}})}$

Таким образом, представленные формулы позволяют в первом приближении вычислить центры давления и плечи боковых моментов от секций ДСРН и ДСРВ для современных самолетов, имеющих параллелограммную и трапециевидную формы в плане.

Список литературы

1. Шумилов И.С. Системы управления рулями самолетов: учеб. пособие/ И.С. Шумилов.– М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2009.– 469 с.

TO THE CALCULATION OF RESULTING MOMENTS BY THE DIFFERENTIAL SETTING OF SPLIT ELEVATOR AND RUDDER

Bazuhair M.A.
Supervisor: E. Pershin
(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this paper, equations to calculate the pitching, rolling and yawing moments resulted by the differential setting of parallelogram and trapezoid split upper and lower rudders as well as root and tip elevators are presented.

УДК 629.7.067.5

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЛОПАСТЕЙ ВЕРТОЛЕТА

Головина Е.С.
Научный руководитель: Н.В. Левшонков, к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Данная работа посвящена одной из важнейших проблем авиации – обледенению, а именно, обледенению лопастей вертолета. Приведены классификация противообледенительных систем (ПОС) по принципу действия, методика нарастания льда на лопастях вертолета, а также сравнительный анализ методов расчета некоторых характеристик ПОС лопастей вертолета.

Обледенение вертолета в полете – всемирно известная проблема авиации. Оно возникает на обтекаемых частях вертолета при полете в воздухе, содержащем переохлажденные капли воды.

Особенно опасно обледенение лопастей вертолета, так как они несут на себе все основную нагрузку. Вследствие наростов льда на них, увеличивается масса вертолета, ухудшаются подъемная сила и аэродинамические характеристики, снижается управляемость и тд.

Обледенение лопастей вертолета зависит от температуры воздуха, водности (количество переохлажденной воды в единице объема), размере водяных капель, которые соударяются с поверхностью, а также от скорости вертолета и высоты его полета. Многочисленные наблюдения подтверждают, что наиболее интенсивное обледенение несущего винта происходит при температуре от +5° до —10°С.

Следует заметить, что лопасти обледеневают интенсивнее других частей вертолета, так как при вращении проходят большое расстояние в переохлажденной воздушной среде. Интенсивность обледенения возрастает по радиусу лопасти.

Для решения проблемы обледенения, на лопасти вертолетов устанавливаются противообледенительные системы. При проектировании системы считают, что она в 99% случаев должна предохранять вертолет от обледенения. Однако точно определение размера защищаемой поверхности лопасти сопряжено с трудностями, обусловленными сложностью аэродинамических винтов, а также возможностью срывов потоков на лопастях. Поэтому при расчете ПОС используют результаты экспериментов и опыт. Как показывает практика, размер зоны отложения льда ≤ 15% от длины хорды профиля.

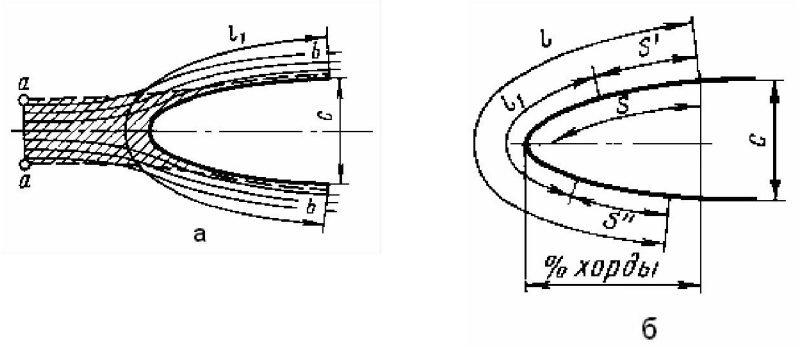


схема обтекания воздушным потоком, l_1 – зона захвата *заштрихованная часть* – зона, содержащая оседающие на профиль капли воды

S', S'' – зоны растекания капель
l - зона защиты

Рис.1 Зона защиты

При проектировании летательного аппарата конструктору необходимо учесть время работы ПОС и необходимые объемы, необходимые для размещения ресурсов для работы системы (например емкости для противообледенительной жидкости или места для размещения специального оборудования), а также потребляемые системой мощность, энергию и топливо. Эффективность различных ПОС определяется прежде всего временем, затраченным на удаление льда с летательного аппарата.

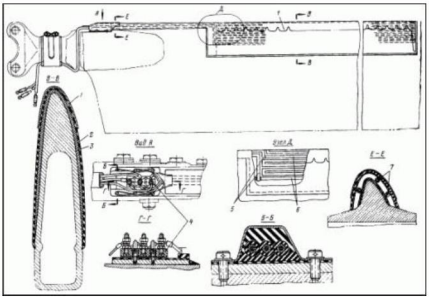
Классификация ПОС по принципу действия:

1) Механические. Лед с поверхности удаляется последствием силовых воздействий (скалывания, деформации).

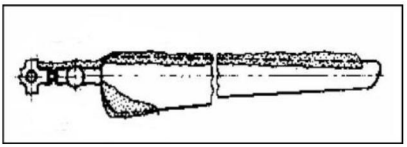
2) Физико-химические. Использование жидкостей, которые понижают температуру замерзания капель воды или уменьшают силу сцепления льда с обшивкой.

3) Тепловые. Нагревание защищаемой поверхности до температуры плавления льда.

На лопастях вертолета чаще всего используются электротепловые ПОС, так как они относительно просты в изготовлении и обслуживании, а также обладают большой эффективностью. При установке ПОС, масса лопасти увеличивается. Поэтому выгодно сформировать эффективную площадь обогрева по месту образования льда, что приведет к весовой эффективности лопасти с ПОС.



Электротепловая ПОС в лопасти вертолета



Лопасть вертолета, подвергшаяся обледенению

Рис.2

Ниже приведены 2 метода расчета параметров электротепловой ПОС.

Первый метод используется для расчета удельного теплового потока, уносимого с рабочей поверхности ПОС. Он основан на анализе теплового баланса.

Для подсчета задаются определенные параметры, такие как скорость полета, температура воздуха, площадь защищаемой поверхности. Необходимые величины определяются по экспериментальным данным.

Первый метод используется для расчета удельного теплового потока, уносимого с рабочей поверхности ПОС [4].

$$q = \alpha(t_п - t_1)[1 + \frac{1550}{p} * \frac{l_п - l_0}{t_п - t_0}] \qquad (1)$$

q – удельный тепловой поток, уносимый с рабочей поверхности ПОС

α- коэффициент теплоотдачи

t_1 - температура на внешней поверхности пограничного слоя (ПС)

$$t_1 = t_П + V_0^2/2C_p\,(1 - (V_M/V_0)^2\,(1 - r))$$

V_M =- местная скорость воздуха в ПС

$\bar{p}$ - коэффициент давления на аэродинамическом профиле

r - коэффициент восстановления давления = 0,85 - 0,88

$l_п\ t_0, l_0, p_0$,F – берутся из экспериментальных данных

Во втором методе расчет основан на законах сохранения массы, энергии и количества движения [3]. Анализ баланса массы проводится с целью вычисления образовавшегося на поверхности летательного аппарата льда. Анализ баланса энергии проводится с целью вычисления количества теплоты, производимого ПОС и уносимого с поверхности летательного аппарата. Анализ законов сохранения количества движения проводится с целью вычисления других необходимых характеристик.

$$Q_{cd} = h_{cd}\,(T_{rec} - T_s)(\Delta b \Delta s)\Delta t_{acc} \qquad (2)$$

h_{cd} - коэффициент теплообмена, $h_{cd} = k_i \dfrac{k_i}{\sqrt{\pi \alpha_i}\, t_{acc}}$

α_i - коэффициенту температуропроводности льда

t_{acc} - время нарастания льда

T_s - температура поверхности

T_{rec} – средняя температура в пограничном слое, называемая температурой восстановления

$\Delta b \Delta s$ - ширина и длина контрольного объема (зависит от размера профиля, т.е от марки вертолета)

Δt_{acc} - шаг по времени нарастания льда

Для расчета задаются определенные параметры, такие как время нарастания льда, температура воздуха, площадь защищаемой поверхности, необходимые для моделирования определенных условий полета. Необходимые величины определяются по экспериментальным данным.

Необходимо заметить, что приведенные методы расчета ПОС позволяют нам моделировать различные условия полета.

Расчет обеих формул производится с помощью специальной компьютерной программы. Некоторые параметры задаются в зависимости от требуемых условий расчета. Проанализировав составление двух методов можно заметить, что для расчета (2) потребуется больше данных, что делает данную методику сложнее, поэтому для дальнейшей работы мы будем использовать методику (1).

Список литературы

1. В. Беляков, Техническая эксплуатация вертолетов/методическое пособие/Н. Панов, В. Филиппов - М.: 1961, С.10

2. Т.П. Мещерякова «Проектирование систем защиты самолетов и вертолетов»

3. С.В. Алексеенко, Численное моделирование обледенения цилиндра и профиля. Обзор моделей и результаты расчета/А.А.Приходько.- 2013. – С.41-42

4. Функциональные системы аэрокосмической техники/А.В. Бетин, Н.В. Бондарева, В.Н. Кобрин и др. – Харьков, 2005 – С.49-55

5. http://auto-dnevnik.com/docs/index-5956.html

6. http://flymeteo.org/stat/icing.php

7. http://avia-simply.ru/obledenenie-letateljnih-apparatov/

ANALYSIS OF THE CALCULATION METHODS OF SOME CHARACTERISTICS ANTI-ICING SYSTEMS OF THE HELICOPTER'S BLADES

Golovina K.

Supervisor: N. Levshonkov, Candidate of Technical Sciences

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

This work is devoted to one of the most important problems in aviation - icing, particulary, the icing of helicopter blades. There are brief characteristics of anti-icing systems (AIS), the method of ice formation on helicopter blades, comparative analysis of the calculation methods for some characteristics of AIS helicopter blades.

УДК 533.6.07

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ

Дурдымурадов А.Б.
Научный руководитель: С.С Самохина, к.п.н., доцент
(Ульяновский институт гражданской авиации
имени главного маршала авиации Б.П. Бугаева, г. Ульяновск)

Проведено исследование аэродинамических спектров, полученных в разработанной для этих целей малогабаритной аэродинамической трубе дозвуковых скоростей с возможностью визуализации процессов.

Для испытательной и учебной практики при подготовке пилотов требуется наглядное представление процессов обтекания аэродинамических профилей потоком газа, что практически невозможно наблюдать визуально в условиях реального полета [1]. Промышленные аэродинамические трубы крупногабаритные, требуют значительных финансовых затрат на эксплуатацию, что делает проблематичным их использование в учебном процессе технических вузов.

Разработана и изготовлена малогабаритная аэродинамическая труба дозвуковых скоростей непрерывного действия с закрытой рабочей частью. Основное достоинство установки состоит в том, что возможна визуализация воздушного потока и установление качественных характеристик потока (ламинарное или турбулентное), наличия областей отрыва пограничного слоя, образования концевых вихрей различными способами.

Наибольшую степень наглядности удалось осуществить при наблюдении аэродинамических спектров с помощью дым-генератора. Однако, применение промышленного устройства оказалось невозможным, так как генерация дыма в нем происходит в импульсном режиме а скорость потока слишком велика для исследования процессов обтекания аэродинамических профилей.

Поэтому для подачи дыма в рабочую зону трубы была изготовлена система, включающая камеру-накопитель (аккумулятор дыма) и форсунку малого диаметра, с помощью которой формиро-

вались струйки дыма.

Экспериментально исследован характер обтекания модели крыла самолета в аэродинамической трубе в различных режимах (угол атаки, скорость газового потока, форма модели крыла). Установка позволила регистрировать срыв потока, демонстрировать режим на закритических углах атаки, наблюдать процесс формирования концевых жгутов. В обычном полете воздушного судна вихревой след и образование жгутов нельзя обнаружить бортовым оборудованием, а визуально они незаметны (увидеть их можно, когда внутри жгута создаются условия для конденсации влаги из воздуха). С помощью термоанемометра исследовано поле скоростей при регистрации аэродинамических спектров от различных профилей.

Практическая значимость разработанной установки и методики моделирования газовых потоков с визуализацией состоит в том, что в ходе учебного процесса при подготовке пилотов или переподготовке авиационных специалистов возможно наглядное представление процессов, которые трудно наблюдать в условиях реального полета. Установка имеет малое энергопотребление, безопасна в эксплуатации, малогабаритна, допускает модернизацию, технологически реализуема.

Перспективы работы состоят в том, что планируется компьютерная обработка оптической информации при регистрации аэродинамических спектров и автоматизация измерений поля скоростей.

Список литературы

1. Щеглова В.М. Экспериментальное исследование аэродинамических нагрузок в концевых сечениях жесткой лопасти модели винта в косом потоке. // Ученые записки ЦАГИ. – Том XL. – 2009. – № 2. – С. 68–86

STUDY OF AERODYNAMIC SPECTRA

Durdymuradov A.

Supervisor: S. Samokhina, PhD (Pedag.), Associate professor
(Ulyanovsk Institute of Civil Aviation, Ulyanovsk)

A small wind tunnel designed to study the aerodynamic spectra at subsonic speeds with the possibility of visualization of processes.

УДК 004.94 +629.735.45

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОДГРИГА-ГАМИЛЬТОНА В ЗАДАЧЕ ДИНАМИКИ ПОЛЕТА ОДНОВИНТОВОГО ВЕРТОЛЕТА

Едранова О.А.
Научный руководитель: А.М. Гирфанов, д.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Предложен вариант моделирования динамики полета одновинтового вертолета в трехмерном Евклидовом пространстве с применением параметров Родрига-Гамильтона. При применении данных параметров отсутствует известный недостаток, когда при угле тангажа 90 градусов кинематические выражения, основанные на углах Эйлера, приводят к делению на ноль.

При решении задачи динамики полета вертолета наиболее часто используется система уравнений пространственного движения вертолета, представленная в работе [1]. При использовании данных уравнений углы ψ, ϑ, γ, определяющие ориентацию осей системы координат в нормальной системе координат, находятся в результате интегрирования уравнений:

$$\begin{aligned}
&\dot{\vartheta} = \Omega_y \sin\gamma + \Omega_z \cos\gamma;\\
&\dot{\psi} = \frac{1}{\cos\vartheta}\left(\Omega_y \cos\gamma - \Omega_z \sin\gamma\right); \qquad (1)\\
&\dot{\gamma} = \Omega_x - tg\vartheta\left(\Omega_y \cos\gamma - \Omega_z \sin\gamma\right),
\end{aligned}$$

где Ω_x, Ω_y, Ω_z – угловые скорости связанной с вертолетом системы координат.

Главным недостатком такого подхода это наличие в соотношениях (1) составляющей $\frac{1}{\cos\vartheta}$, что при угле тангажа $\frac{\pi}{2}$ приведет к делению на ноль.

В данной работе предлагается применить способ выражения кинематических соотношений, основанный на параметрах Родрига-Гамильтона [2], называемых кватернионами: $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$.

Переход от углов Эйлера (самолетных) проведем следующим образом:

$$\lambda_0 = \cos(\frac{\psi}{2})\cos\left(\frac{\vartheta}{2}\right)\cos(\frac{\gamma}{2}) - \sin(\frac{\psi}{2})\sin\left(\frac{\vartheta}{2}\right)\sin(\frac{\gamma}{2}); \quad (2)$$

$$\lambda_1 = \cos(\frac{\psi}{2})\cos\left(\frac{\vartheta}{2}\right)\sin(\frac{\gamma}{2}) + \sin(\frac{\psi}{2})\sin\left(\frac{\vartheta}{2}\right)\cos(\frac{\gamma}{2});$$

$$\lambda_2 = \sin(\frac{\psi}{2})\cos\left(\frac{\vartheta}{2}\right)\cos(\frac{\gamma}{2}) + \cos(\frac{\psi}{2})\sin\left(\frac{\vartheta}{2}\right)\sin(\frac{\gamma}{2});$$

$$\lambda_3 = \cos(\frac{\psi}{2})\sin\left(\frac{\vartheta}{2}\right)\cos(\frac{\gamma}{2}) - \sin(\frac{\psi}{2})\cos\left(\frac{\vartheta}{2}\right)\sin(\frac{\gamma}{2}).$$

Производные по времени кватернионов в подвижной системе координат можно представить как:

$$\dot{\lambda}_0 = -(\Omega_x\lambda_1 + \Omega_y\lambda_2 + \Omega_z\lambda_3)/2;$$

$$\dot{\lambda}_1 = -(\Omega_x\lambda_0 + \Omega_z\lambda_2 - \Omega_y\lambda_3)/2; \quad (3)$$

$$\dot{\lambda}_2 = -(\Omega_y\lambda_0 + \Omega_x\lambda_3 - \Omega_z\lambda_1)/2;$$

$$\dot{\lambda}_3 = -(\Omega_z\lambda_0 + \Omega_y\lambda_1 - \Omega_1\lambda_2)/2.$$

Тогда, выполнив численное интегрирование любым известным способом, можно получить значения кватернионов на следующем промежутке времени. Теперь остается только выполнить обратное преобразование кватернионов в традиционные (самолетные) углы Эйлера. Для этого предлагается применить другие, более точные, в отличие от представленных в работе [2] формул обратного преобразования:

$$\vartheta = a\sin(2\cdot(\lambda_0\lambda_3 + \lambda_1\lambda_2));$$

$$\gamma = a\tan(2\cdot\frac{\lambda_0\lambda_1 - \lambda_3\lambda_2}{\lambda_0^2 + \lambda_2^2 - \lambda_3^2 - \lambda_1^2}); \quad (4)$$

$$\psi = a\tan(2\cdot\frac{\lambda_0\lambda_2 - \lambda_3\lambda_1}{\lambda_0^2 + \lambda_1^2 - \lambda_3^2 - \lambda_2^2});$$

Таким образом, применение параметров Родрига-Гамильтона позволяет избавиться от известного недостатка.

Список литературы

1. Браверман А.С., Вайнтруб А.П. Динамика вертолета. Предельные режимы полета. М.: Машиностроение, 1988 г.

2. Данилюк Д.А. Свойства параметров Родгира-Гамильтона в частных решениях уравнений динамики тяжелого твердого тела. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований № 8, 2014 г.

УДК 629.735.45

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ШУМА ВИНТА

Канахина В.С.
Научный руководитель: А.С. Батраков, к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Работа посвящена задаче обработке акустического сигнала модели несущего винта вертолета. Предложен алгоритм обработки, реализованный в виде программы. Проведена обработка данных, получены оценки по среднему акустическому воздействию.

Введение

В настоящее время все большее внимание уделяется таким аспектам как экология и безопасность жизнедеятельности, поэтому в задачах проектирования летательных аппаратов (ЛА) появляются требования не только к летно-техническим характеристикам, но и к таким показателям, как уровень акустического излучения. Такие ЛА, как вертолеты, характеризуются высоким уровнем акустического излучения, что связано в первую очередь с работой несущего винта вертолета. Поэтому разработка методик определения акустического излучения винта и выработка конструкторских рекомендаций для снижения генерируемого шума являются одними из приоритетных задач при формировании облика вертолета нового поколения.

Решение поставленных задач невозможно без детального изучения процесса генерация и распространения акустического сигнала с помощью, как численных методов, так и физических экспериментов. В данной работе рассматривается задача обработки результатов физического эксперимента акустического сигнала от модели несущего винта вертолета.

Описание экспериментальной установки

Для исследования генерации и распространения акустического сигнала от несущего винта вертолета в Лаборатории №1

КНИТУ-КАИ построен экспериментальный стенд, включающий в себя аэродинамическую трубу с заглушенной камерой в рабочей зоне (рис. 1), вертолетный стенд, имитирующий работу винта вертолета, систему управления вертолетным стендом, массив микрофонов и оборудование для записи акустического сигнала. Подробное описание эксперимента представлено в работе [1].

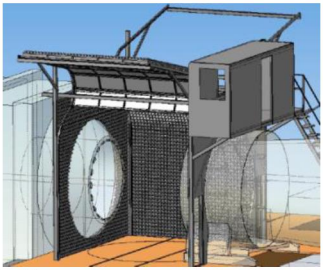


Рис. 1. Схема аэродинамической трубы
с заглушенной камерой в рабочей области

Модель несущего винта представляет собой 4-хлопастной винт радиусом R=820 мм, лопасти которого имеют параболическую законцовку, без крутки.

Для исследования акустического излучения использовалась линейка микрофонов DBX RTA-M, которые располагали на расстоянии от оси вращения винта от 1,2R до 2,1R. Расстояние между микрофонами 130 мм (рис. 2).

Рис. 2. Расположение микрофонов

Результаты экспериментального исследования

Выполнена серия экспериментов по оценке акустического излучения при различных режимах работы винта. На записанном сигнале с 0 микрофона (рис. 3) видно выраженное акустическое воздействие, вызванное прохождением лопасти (основная частота соответствует частоте прохождения лопасти).

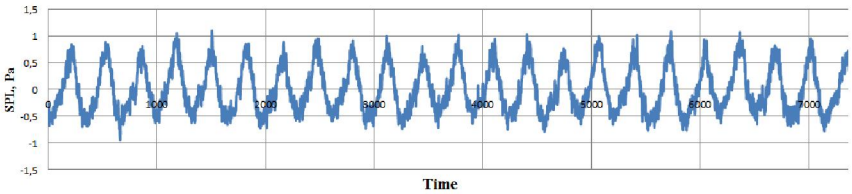


Рис. 3. Записанный сигнал, первые 20 волн

Однако записанный сигнал имеет высокочастотный шум, что затрудняет проводить оценку акустического излучения генерируемого движением лопастей. Возможными причинами зашумления сигнала являются наличие турбулентного шума, шума от трансмиссии, шума от электродвигателя, механических вибраций и электромагнитного зашумления сигнала. К тому же в ходе анализа результатов эксперимента выявлено, что акустический сигнал имеет неравномерный характер по времени. Это может быть связано с некоторыми изменениями частоты вращения винта в процессе эксперимента и различными видами деформаций.

Так же следует отметить, что необработанный сигнал оцифрован с частотой 48 кГц и занимает большой объем памяти, что затрудняет работу с ним. Таким образом, задачей текущей работы является разработка программного средства обработки анализа и формирования базы данных по результатам физического эксперимента.

Методика обработки данных

Из литературных источников известно [2], [3], [4], что акустический сигнал от несущего винта вертолета можно представить в виде нескольких компонент, такие как шум вытеснения, шум нагружения, шум взаимодействия лопасти с концевым вихрем (BVI), широкополосный турбулентный шум и другие. Так же из

анализа литературных источников следует, что для режима работы винта на месте основными источниками шума являются дискретные компоненты, шум вытеснения и шум нагружения. Более того, в плоскости вращения винта действует только шум вытеснения. Таким образом, в рассмотренном эксперименте наибольший интерес представляют собой низкочастотный шум с частотой соответствующей частоте прохождения лопасти винта. Высокочастотный шум в данном случае можно рассматривать как помехи.

Учитывая особенности акустического сигнала, было предложено провести анализ периодично повторяющейся структуры на протяжении всего сигнала с оценкой статистических параметров [5]. Более подробно алгоритм обработки сигнала представлен на рисунке 4.

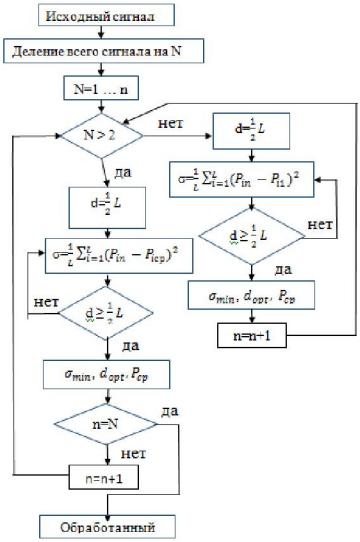
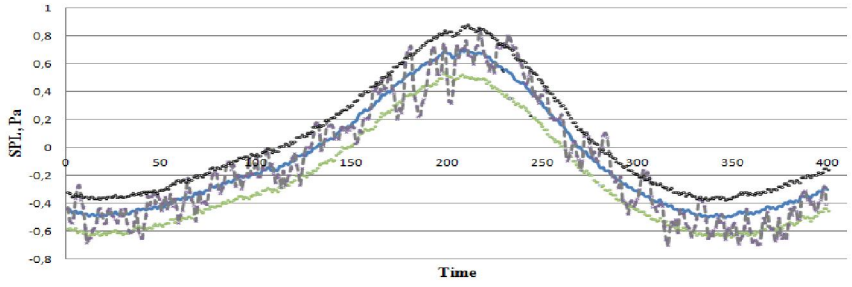


Рис. 4. Блок - схема алгоритма обработки сигнала. N - количество волн, d – смещение волн по фазе, σ – среднеквадратичное отклонение волны от средней волны, L – длина периода, P_i – текущее значение давления.

Результаты обработки акустического сигнала

Используя разработанный алгоритм, выполнена обработка акустических сигналов, полученных с микрофонов при различных

режимах работы винта. Проведенная обработка позволяет нам выполнить оценку среднего акустического воздействия несущего винта. Среднеквадратичное отклонение, получаемое в процессе обработки, позволяет оценить нам как величину высокочастотного шума, так и нестабильность в процессе эксперимента. В подтверждение правильности полученных оценок приводится сравнение обработанного сигнала с необработанным (рис. 5).



- обработанный сигнал, - исходный сигнал волна N=1, ° - доверительный интервал.

Рис. 5. Сравнение исходного сигнала с обработанным

Исходный сигнал преимущественно находится в пределах полученного доверительного интервала. Полученные оценки занимают значительно меньший объем памяти, что удобно для хранения и анализа.

Заключение

В данной работе рассмотрена задача обработки акустического сигнала, генерируемого моделью несущего винта вертолета. Предложенный алгоритм реализован в виде программы, позволяющий выполнить оценку среднего акустического воздействия по дискретному шуму (частоте, соответствующей частоте прохождения лопасти), а высокочастотный шум и флуктуации в процессе проведения эксперимента представить в виде доверительного интервала. Преимуществами разработанной программы является возможность выполнения анализа и хранения результатов эксперимента в меньшем объеме.

Результаты, представленные в данной статье, были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России номер 9.1577.2017/ПЧ.

Список литературы

1. Дж.Н. Баракос. Создание базы данных акустических экспериментальных исследований модели изолированного несущего винта вертолета/ Дж.Н. Баракос, А.С. Батраков, А.Н. Боженко, Л.И. Гарипова, А.Н. Кусюмов, С.А. Михайлов, В.В. Пахов, Р.П. Степанов. // Сборник конференции «Вычислительный экспермент в аэроакустике». – 2016. – С. 41-44

2. Джонсон У. Теория вертолета: В 2-х книгах. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983.

3. Головкин В.А., Исследование шума вытеснения от несущего винта вертолета в дальнем поле/ Головкин В.А., Крицкий Б.С., Миргазов Р.М. // Научный вестник МГТУ ГА. – 2014. - №200. – С. 74-78.

4. Лукьянов П.В.,Влияние крутки лопасти ротора вертолета на генерацию BVI-шума // Вестник Черкасского национального университета. – 2014. - №38. – С.90-102.

5. Чучупал В.Я. Цифровая фильтрация зашумленных речевых сигналов, / Чучупал В.Я., Чичагов А.С. Маковкин К.А. // Вычислительный центр РАН, Москва, 1998.

DEVELOPMENT OF THE PROGRAM FOR PROCESSING THE ACOUSTIC SIGNAL OF ROTOR NOISE

Kanakhina V.
Supervisor: A. Batrakov, Ph.D.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Work is devoted to a task of processing of a helicopter main rotor acoustic signal. The algorithm of processing was offered and realized in the program. Data processing is carried out, estimates on average acoustic influence are received.

УДК 533.6.04

ИССЛЕДОВАНИЕ СТУПЕНЧАТОГО ПРОФИЛЯ КРЫЛА

Крутов Р.Н., Сорокин А.Д.
Научный руководитель: В.А. Фролов, к.т.н., доцент
(Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королёва, г. Самара)

В работе представлены результаты экспериментальных исследований аэродинамических характеристик ступенчатого профиля крыла.

Ступенчатый профиль был разработан Ричардом Кляйном в 60-х годах XX века. Его целью было создать профиль для бумажного самолётика, способного противостоять сильному ветру, высоко подниматься и хорошо планировать. В дальнейшем Р. Кляйном и Флойдом Фогельманом была разработана целая серия таких профилей. Тем не менее, данные профили не получили широкого распространения в полноразмерной авиации [1]. В связи с этим было решено исследовать влияние ступеньки на аэродинамические характеристики крыла.

Для исследования характеристик ступенчатого профиля за основу был выбран профиль NACA-0026 [2]. На основе этого профиля были построены две модели: крыло с симметричным профилем и крыло со ступенчатым профилем (рис. 1).

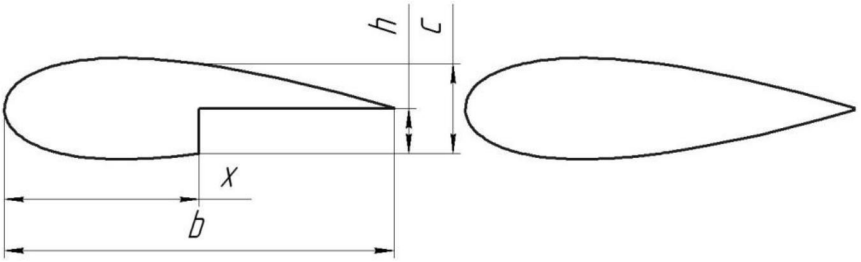


Рис. 1. Профили крыльев

В результате продувок в аэродинамической трубе были получены данные, представленные на рисунке 2. На основании этих данных можно заключить, что верхнее расположение ступеньки оказывает, скорее, отрицательное влияние на характеристики крыла, а именно, снижается подъемная сила, увеличивается сопротивление и снижается критический угол атаки. При нижнем расположении ступеньки на больших углах атаки наблюдается небольшой прирост подъемной силы и качества крыла, а также увеличение критического угла атаки.

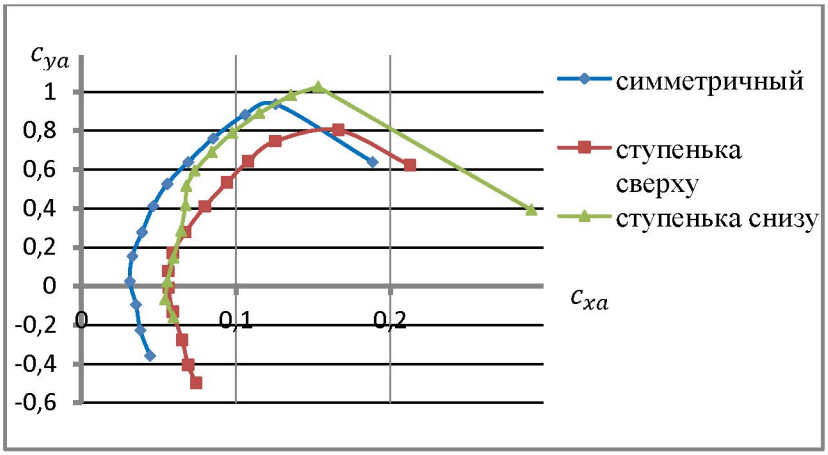


Рис. 2. Поляры профилей

Кроме физической продувки в аэродинамической трубе был проведен расчет характеристик профилей в программе SolidWorks. Результаты расчетов в программе качественно подтверждают результаты исследования в аэродинамической трубе.

Дальнейшее исследование заключалось в определении зависимостей качества крыла от расположения ступеньки и её глубины. Эти зависимости определялись для нижнего расположения ступеньки. Результаты расчётов приведены на рисунках 3 и 4, где $K = \frac{c_{ya}}{c_{xa}}$; $\bar{x} = \frac{x}{b} \cdot 100\%$; $\bar{h} = \frac{h}{c} \cdot 100\%$.

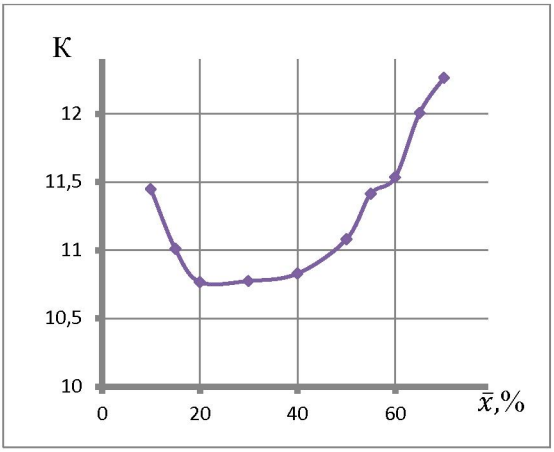


Рис. 3. Зависимость аэродинамического качества от расположения ступеньки по хорде при высоте ступеньки 50 %

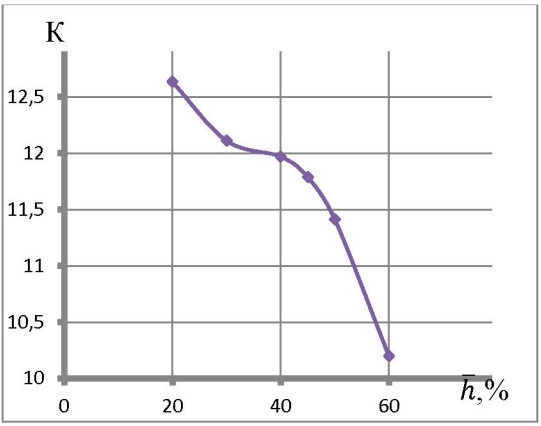


Рис. 4. Зависимость аэродинамического качества от высоты ступеньки при расположении ступеньки по хорде 50 %

Расчёты аэродинамических характеристик профилей с отклонённым закрылком приведены на рисунке 5.

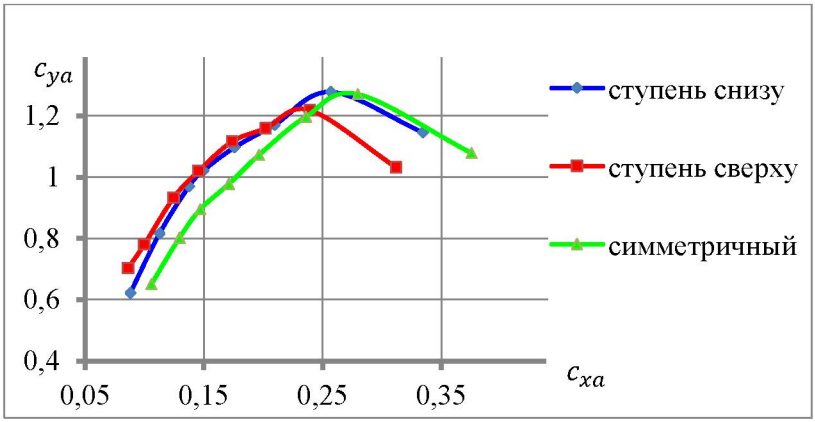


Рис. 5. Поляры профилей

Выводы. Верхнее расположение ступени даёт отрицательный эффект на аэродинамические характеристики, нижнее расположение добавляет максимальную подъёмную силу и увеличивает критический угол атаки. Максимальное качество при всех расположениях ступеньки ниже, чем для крыла без ступеньки. При отклонённом закрылке лучшие аэродинамические характеристики имеют ступенчатые профили.

Список литературы

1. Свободная энциклопедия Википедия [Электронный ресурс]: Аэродинамический профиль Кляйна-Фогельмана. 2016. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Аэродинамический_профиль_Кляйна-Фогельмана (дата обращения 25.09.2016).

2. Кравец, А.С. Характеристики авиационных профилей [Текст]: учебное пособие для авиационных втузов / А.С. Кравец. – М.: Оборониздат, 1939. – 213 с.

RESEARCH OF A STEPPED WING PROFILE

Krutov R., Sorokin A.

Supervisor: V. Frolov, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor
(Samara National Research University, Samara)

There are results of experimental studies of aerodynamic characteristics of a stepped wing profile in the research.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ВНЕДРЕНИЯ ФЕНЕСТРОНА ДЛЯ ЛЕГКОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО ВЕРТОЛЕТА

Латыпов Ф.Ф.
Научный руководитель: Д.В. Неделько, И.Х. Губайдуллин
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассматривается возможность внедрения фенестрона в конструкцию отечественных легких многоцелевых вертолетов.

В данной работе выполняется проектирование легкого многоцелевого вертолета в двух вариантах: с классическим РВ и РВ типа «фенестрон».

Задача заключается в том, чтобы определить и проанализировать расчётным путём, а также при помощи инженерного анализа в CFD пакетах тягу исследуемых способов обеспечения путевой балансировки на различных режимах полета.

Также на основе полученных данных производится внесение изменений в конструкцию винта в кольце, с целью улучшения его характеристик, а главным образом, уменьшить отбор мощности на вращение винта фенестрона на режиме висения.

По итогам полученных данных проводится сравнительный анализ тяги рулевого винта классической схемы и улучшенной конструкции винта в кольце.

В вертолетах одновинтовой схемы винт небольшого диаметра располагается на хвостовой балке вертолёта на некотором расстоянии от оси несущего винта. Создавая тягу в плоскости, перпендикулярной вертикальной оси вертолёта, рулевой винт компенсирует реактивный момент. Изменяя тягу рулевого винта, можно управлять поворотом вертолёта относительно вертикальной оси. Большинство современных вертолетов выполнено по одновинтовой схеме [*].

Рулевой винт является источником звуковых колебаний, частота которых выше, чем у несущего винта, а человеческое ухо к

ним более восприимчиво. Незакрытые лопасти могут оказаться поврежденными во время посадки на неподготовленные площадки или снежную целину. Наконец, погрузка и выгрузка пассажиров рядом с работающими винтами представляет немалую опасность для их жизни.

Появление фенестрона стало закономерным ответом на недостатки рулевого винта. Создатели вертолетов постоянно искали возможности для снижения шума и повышения безопасности. Желание заключить винт в кольцо появилось вместе с самим винтом, но только экстравагантные французские инженеры фирмы Aérospatiale сумели на практике реализовать «винт в кольце» в качестве рулевого [4].

На рисунке 1 приведено сравнение потребных мощностей для фенестрона и обычного рулевого винта в зависимости от скорости горизонтального полета. Как видим, на скоростях свыше 150 км/ч мощность идущая на фенестрон, более чем в два раза меньше мощности обычного рулевого винта. Так, на скорости 250 км/ч этот выигрыш составляет 70% или 3,6 от полной мощности.

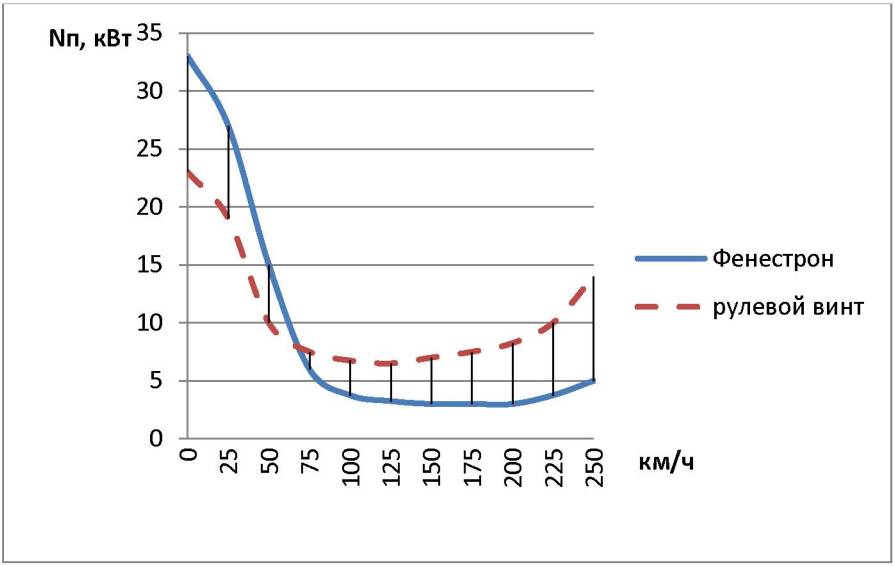


Рис. 1.

Список литературы

1 *http://www.airbushelicopters.ru/website/docs_wsw/RUB_100/tile_448/TopFlight_May13_Fenestron.pdf*- Винт в кольце. Дата обращения 30.04.2017.

2 Аэродинамическое проектирование фенестрона: Учебное пособие / Московский авиационный институт; В.И. Шайдаков, А.О. Завалов. – Москва, 1980 – 66 с.

3 Ducted Tail Rotor Perfomance Prediction Using CFD: CRANFIELD UNIVERSITY; KONSTANTINOS KARAMOLEGKOS - 2014.

INVESTIGATION OF PERSPECTIVE OF FENESTRON IMPLEMENTATION FOR AN EASY MULTI-PURPOSE HELICOPTER

Latypov F.
Supervisor: D. Nedel'ko, I. Gubaydullin
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The possibility of introducing fenestron into the design of domestic light multipurpose helicopters is considered.

УДК 533.69.01

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕВЫХ ВИХРЕЙ ЗА КРЫЛОМ КОНЕЧНОГО РАЗМАХА

Ледянкин М.А., Степанов Р.П.
Научные руководители: С.А. Михайлов, д.т.н., профессор,
А.Н. Кусюмов, д.ф.-м. н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В работе представлены экспериментальные результаты измерения формы концевых вихрей за крылом конечного размаха. Измерения были проведены при помощи PIV-системы в аэродинамической трубе Т1-К КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева. Показана форма концевых вихревых жгутов для разных углов атаки крыла.

Введение

В настоящее время большое распространение получили бесконтактные способы измерений. К примеру, Г.Г. Гаджимагомедов и соавторы [1] получили хорошую сходимость результатов при расчете интегральных характеристик неподвижного дренированного крыла по результатам измерений поля скоростей течения при помощи PIV-системы и распределения давления на дренажных отверстиях крыла. Продолжением данной работы является расчет подъемной силы лопасти по двухмерным полям скоростей вокруг лопасти вращающегося винта [2].

Согласно теореме Жуковского о подъемной силе, подъемная сила крыла с изменяющейся вдоль размаха циркуляцией равна [5]:

$$Y_a = \rho V_\infty \int_{-l/2}^{l/2} \Gamma(z) dz \qquad (1)$$

На достаточно большом расстоянии за крылом, где влияние присоединенного вихря на индуцированные скорости от двух свободных вихревых жгутов пренебрежимо мало, теорема Жуковского примет вид [3]:

$$Y_a = \rho V_\infty \Gamma_0 l' \qquad (2)$$

Данная работа направлена на изучение формы концевых вихрей за крылом конечного размаха. Эксперименты проводились в аэродинамической трубе Т1-К КНИТУ-КАИ: диаметр выходного сечения сопла 2,25 м, степень турбулентности $Tu <$ 0.5%,максимальная скорость потока до 50 м/с.

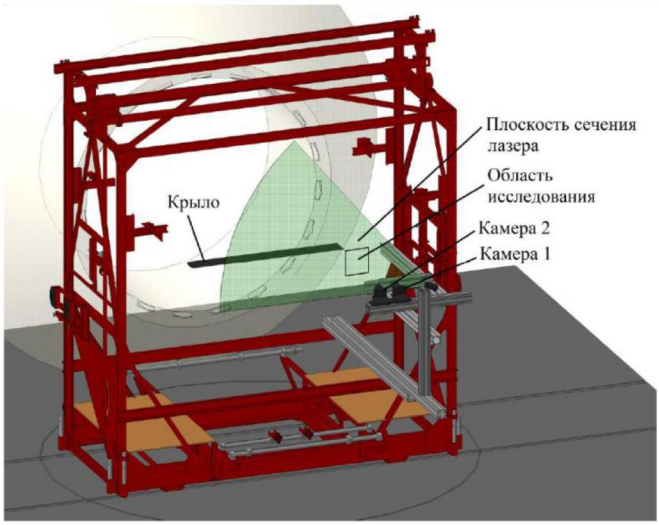


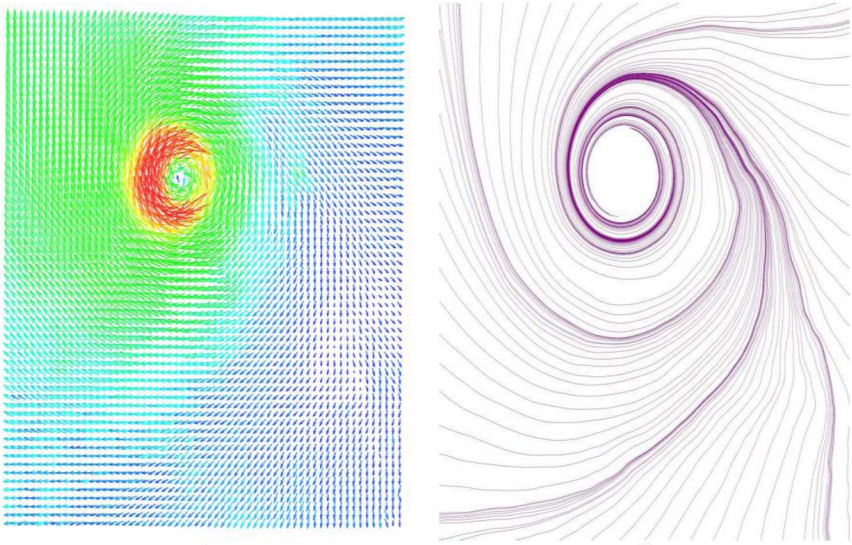
Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Для исследования полей скоростей использовалась измерительная система Dantec-PIV. В качестве трассирующих частиц использовалось оливковое масло. Пространственное положение фиксировалось двумя камерами, как показано на рисунке 1. Первая камера устанавливалась за крылом перпендикулярно потоку, а вторая под углом 11° относительно первой. Частота вспышек лазера составляла 8 Гц.

В качестве объекта исследования использовалось прямоугольное крыло конечного размаха, которое имело размер хорды 187 мм, относительное удлинение 7,8 и закруглённые боковые законцовки типа ЦАГИ. Крыло было построено на базе модифицированного профиля Göttingen 387, который в отличие от исходного профиля имел плоскую нижнюю поверхность. Модель крыла

окрашена в чёрный матовый цвет для уменьшения бликов и отражений от лазерного ножа.

Скорость потока составляла 28 м/с, углы атаки крыла составляли 0°, 6°, 12° и 18°, для того, чтобы охватить линейный участок зависимости $C_{Ya}(\alpha)$ и закритические углы. Мгновенное поле скоростей и линии тока на рисунке 2 для угла атаки α = 18° и расстояния от задней кромки 790 мм.



а) б)

Рис. 2. Мгновенное поле скоростей (а) и линии тока (б) для сечения свободного вихря за крылом

Формы вихревых жгутов для разных углов атаки представлены на рисунках 3-6.

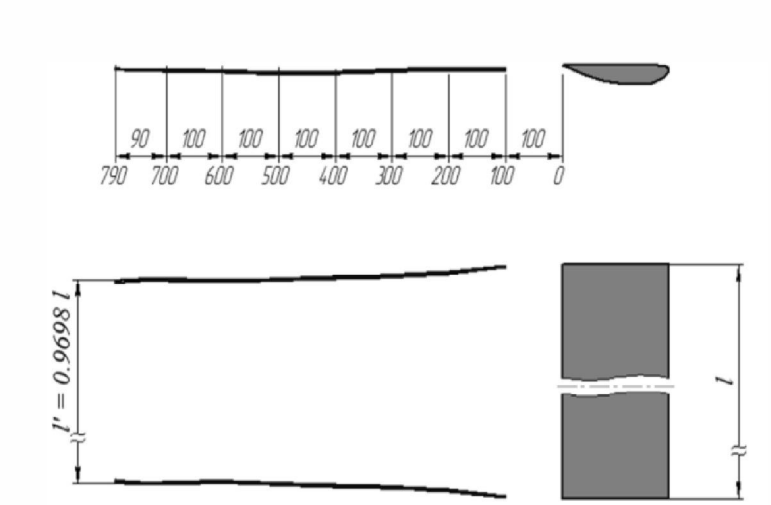


Рис. 3. Форма концевого вихря за крылом для угла атаки крыла $\alpha = 0°$

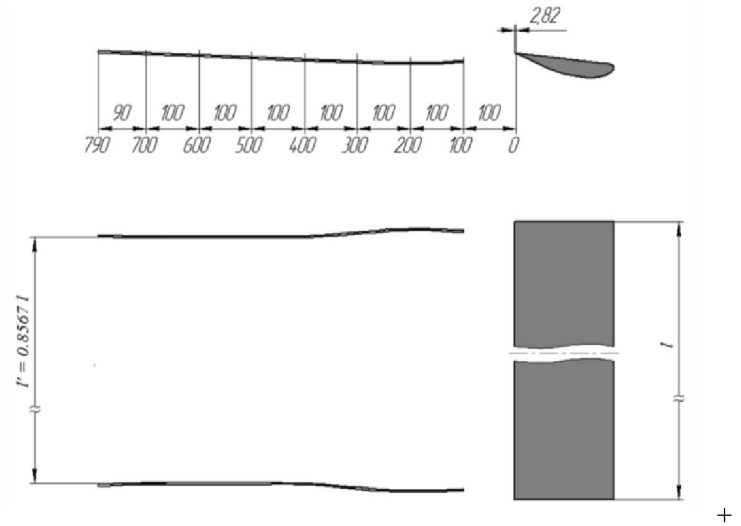


Рис. 4. Форма концевого вихря за крылом для угла атаки крыла $\alpha = 6°$

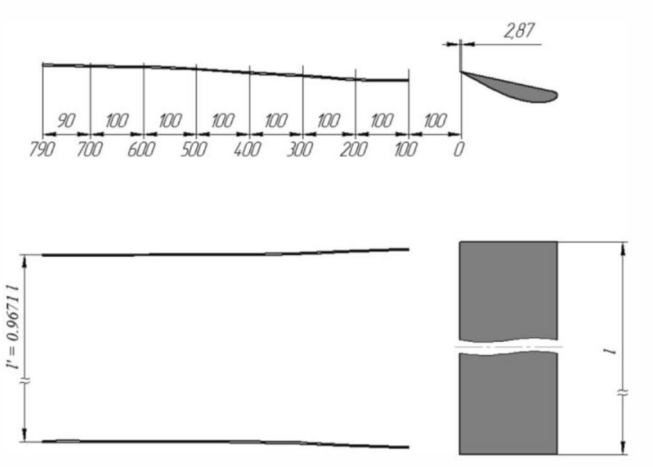


Рис. 5. Форма концевого вихря за крылом для угла атаки крыла $\alpha = 12°$

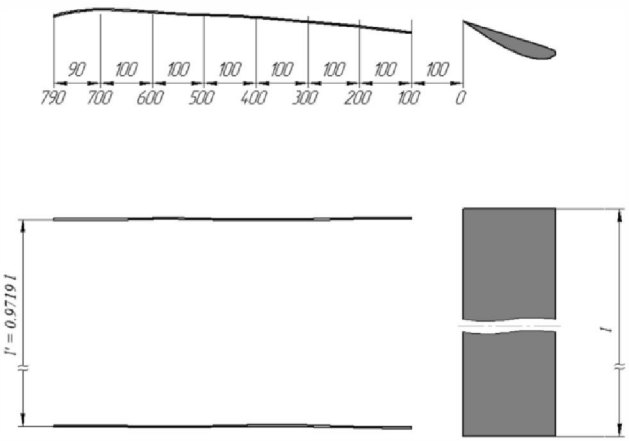


Рис. 6. Форма концевого вихря за крылом для угла атаки крыла $\alpha = 18°$

Выводы. Проведены экспериментальные исследования по определению структуры свободного концевого вихря за крылом конечного размаха. Определены размеры концевого вихря в различных сечениях и форма вихрей для различных углов атаки.

Список литературы

1. Г.Г. Гаджимагомедов, В.А. Власов, В.М. Лутовинов, Д.С. Сбоев, "Применение метода PIV для решения некоторых задач аэродинамики". Сборник трудов "Современные проблемы механики гетерогенных сред". 28-30 апреля 2014 года, г. Москва.
2. Г.Г. Гаджимагомедов, В.М. Лутовинов, "Бесконтактное измерение распределения подъемной силы на лопасти вращающегося винта". XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики, Казань, 20- 24 августа 2015 года. с.853-855.
3. И.В. Остославский, "Аэродинамика самолета". Государственное издательство оборонной промышленности, Москва 1957.

INVESTIGATION OF TIP VORTICES BEHIND A FINITE SPAN WING

Ledyankin M., Stepanov R.
Academic advisors: Mikhaylov S., Kusyumov A.

This work outlines experimental results of tip vortices, trailing behind a finite span wing, which were obtained with PIV-system in T-1K wind tunnel of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev. The trajectories of tip vortices are shown for different angles of attack of the wing.

УДК 533.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ФЮЗЕЛЯЖА ВЕРТОЛЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ДИСКА-АКТУАТОРА

Лопатин Е.А.
Руководитель: А.Н. Кусюмов, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Целью работы является исследование влияния несущего винта на аэродинамику фюзеляжа вертолета. Диск несущего винта дискретизирован в азимутальном направлении, в областях занимаемых лопастями. Для получения скачка давления, применяется активный диск с равномерным и неравномерным распределением нагрузки на лопасть, на основе теории импульса.

Моделирование обтекания несущего винта является достаточно сложной задачей, требующей применения значительных вычислительных ресурсов. Сложность физической постановки задачи заключается в ее комплексном характере, включая нестационарность потока, сочетание аэродинамики и аэроупругости лопастей, наличие вихревого течения и аэродинамического следа, сочетания как ламинарных так и турбулентных областей течения. Можно также упомянуть большое разнообразие условий полета. Несмотря на эти трудности, методы численного моделирования в настоящее время становятся все более востребованными для моделирования характеристик течения около вертолетов [1,2].

Существуют также подходы, позволяющие снизить требования к вычислительным ресурсам, основанные на замене несущего и рулевого винта активным диском (диск-актуатор). Классические модели активного диска позволяют проводить моделирование в стационарной постановке, что значительно снижает требования к производительности и объему оперативной памяти компьютера. Активный диск моделирует влияние несущего винта в виде скачка давления через диск с применением импульсной теории винта.

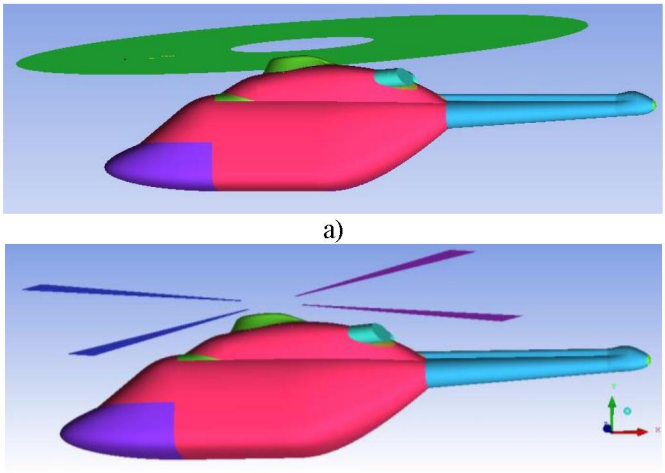
Распределение скачка давления через диск моделируется без учета влияния фюзеляжа. По этой причине эффект воздействия несущего винта на фюзеляж сильно упрощен и данный подход может быть использован только для первоначальных оценок нагрузок на фюзеляж [3-5].

Целью настоящей работы является моделирование обтекания фюзеляжа вертолета в режиме горизонтального полета с использованием модели виртуальной лопасти (МВЛ) вместо стандартных лопастей. Распределение скачка давления на поверхности активного диска определяется с использованием равномерного и неравномерного распределения нагрузки на лопасти, с использованием импульсной теории винта.

Для моделирования используется CAD-модель фюзеляжа вертолета «ANSAT-P», соответствующая прототипу фюзеляжа легкого вертолета "АНСАТ" (производства «ПАО Казанский вертолетный завод»). Модель ANSAT-P использовалась также при испытаниях в аэродинамической трубе Т-1К Казанского Национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева (КНИТУ-КАИ).

Рис. 1. Модель фюзеляжа ANSAT-P в рабочей части аэродинамической трубы

На рисунке 2 показана CAD-модель фюзеляжа с активным диском и виртуальными лопастями. Моделирование течения около фюзеляжа ANSAT-P проводилось с использованием программы ANSYS FLUENT.



a)

b)

Рис. 2. Изображение CAD-модели фюзеляжа
с активным диском (a) и моделью лопастей (b)

На рисунке 3 представлено значение коэффициента сопротивления фюзеляжа (CD) для МВЛ с постоянным значением скачка давления.

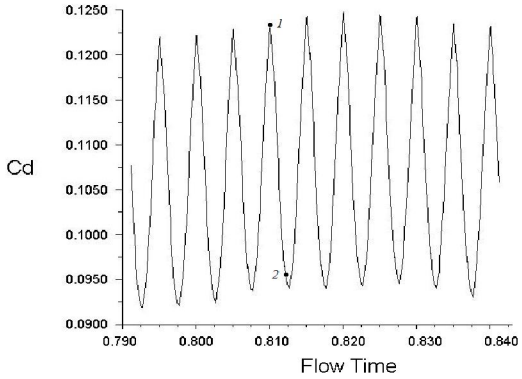


Рис. 3. Коэффициент сопротивления фюзеляжа для МВЛ

Для МВЛ винта усредненное значение коэффициента сопротивления соответствует коэффициенту сопротивления, полученного при стационарном режиме моделирования: CD = 0,101.

Список литературы

1. R. Steijl, and G. N. Barakos, Aerospace Science and Technology, 19, 1 (2012).

2. A. F. Antoniadis et al., Aerospace Science and Technology, 19, 1 (2012).

3. Ph. Beaumier, J.-M. Bousquet, 24-th ICAS Congress (2004).

4. T. Renaud, M. D. O'Brien, M. Smith, M. Potsdam, American Helicopter Society 60th Annual Forum, (2004).

5. A.S. Batrakov, A.N. Kusyumov, G. Barakos, 29-th ICAS Congress (2014).

SIMULATION OF FLOW AROUND HELICOPTER FUSELAGE USING DISK-ACTUATOR MODEL

Lopatin E.

Supervisor: A. Kusyumov, professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

This research aims to investigate a rotor influence on helicopter fuselage aerodynamics. The rotor disk is discretized in the azimuthal direction, in regions occupied by the blades. To obtain the pressure jump, an actuator disk is employed using uniform and non-uniform blade load distribution, based on momentum theory.

УДК 629.7

ДИНАМИЧЕСКИ ПОДОБНАЯ МОДЕЛЬ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Салаватов И.И.
Научный руководитель: И.М. Закиров, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Динамически подобная модель летательного аппарата (ДПМ) – модель, созданная в соответствии с законами динамического подобия и используемая при исследованиях флаттера и других явлений аэроупругости. Полученные в лабораторных условиях результаты переносятся на натурный летательный аппарат путем пересчета коэффициентов.

Аэроупругие динамически подобные модели играют важную роль при проектировании современных летательных аппаратов. Они используются в аэродинамических трубах для исследования флаттера и других проблем аэроупругости. В процессе создания нового опытного самолета приходится проводить обширные исследования его аэродинамических характеристик, устойчивости и управляемости на различных режимах полета, при различных центровках. Эти действия требуют большое количество как временных, так и трудовых затрат. Большинство этих вопросов может быть решено путем исследования модели будущего самолета в аэродинамической трубе, однако окончательные испытания и доводку проводят на построенном самолете. При такой системе исследований целый ряд дефектов выявляется очень поздно, и для их устранения обычно требуется ряд доводок и постройка второго варианта самолета. Все это значительно удорожает создание самолета, задерживает его запуск в серию и приводит к преждевременному старению изделия, когда затраченные средства не дают требуемой отдачи. Проведение предварительных летных исследований на динамически подобных свободнолетающих моделях приносит определенную пользу. Значительную часть дефектов будущего опытного самолета можно выявить и устранить заблаговременно.

Поэтому главная задача при проектировании ДПМ состоит в том. Чтобы ее правильно спроектировать в соответствии с заданными критериями подобия и требуемой точностью моделирования. Ввиду дороговизны изготовления нового самолета, произведенные на ДПМ различные летные исследования в реальных условиях полета, позволяют с большей уверенностью подойти к испытаниям на натурном БЛА.

Отличительной чертой свободнолетающей динамически подобной модели является возможность проведения обширных летных экспериментов с целью выявления возможных недостатков в полете.

Назначением и областью применения динамически подобной модели является следующее:

–Летающая лаборатория для отработки алгоритмов управления подобных алгоритмам натурного беспилотного летательного аппарата;

–Имитация и отработка на ДПМ различных аварийных режимов полета натурного беспилотного летательного аппарата.

Динамически подобная модель имеет такое же распределение масс и жесткостей и обеспечивает подобие аэродинамических сил.

Динамическое подобие по отношению к натурному беспилотному аппарату заключается в следующем:

–Подобие геометрических характеристик;

–Подобие аэродинамических характеристик;

–Подобие винтомоторной группы;

–Весовое подобие;

–Подобие инерциальных характеристик.

Первым этапом создания ДПМ является определение конструктивного членения элементов. Необходимо учитывать, что малоразмерность элементов создает сложности изготовления, необходимо провести анализ конструкции, внести коррективы. Идеальной моделью принято считать ту модель, которая отвечает всем требованиям подобия одновременно. Зачастую добиться подобного результата очень сложно. Для достижения приближений требуется менять схему членения элементов и принципы крепления агрега-

тов. Для достижения массового подобия требуется выполнить работу по подбору соответствующего материала.

По разработанному конструктивному исполнению планера проведена работа по выбору коэффициентов масштабирования для создания ДПМ. Все геометрические размеры масштабированы с помощью коэффициента масштаба k.

В процессе расчетов были использованы зависимости и формулы, часть которых получена из открытых источников, другие были выведены самостоятельно.

Геометрические характеристики:

- Ширина размаха крыльев натурного БЛА - m
- Заданная ширина размаха крыльев ДПМ - n
- Коэффициент масштабирования: $k = \frac{m}{n}$
- Коэффициент толщины многослойного материала: $f_{\text{толщ.материала}} = k$

В случае, если толщина многослойного материала становится меньше толщины используемого материала, то в изготовлении применяется один слой материала.

Аэродинамические характеристики:

- Коэффициент площади поверхности ДПМ: $f_s = k^2$
- Коэффициент объема ДПМ: $f_v = k^3$
- Коэффициент нагрузки на крыло: $f_p = \frac{f_m}{f_s} = k$
- Коэффициент скорости полета: $f_{\text{скорости}} = \sqrt{f_p} = \sqrt{k}$

После изготовления и сборки проведена центровка ДПМ подобно центровке натурного БЛА в заданном диапазоне средней арифметической хорды. Для достижения правильной центровки использовались добавочные грузы.

Характеристики винтомоторной группы:

- Мощность двигателя: $P_k = P_1 \cdot f_{\text{сил}}$
- Диаметр воздушного винта: $D_k = D_1 \cdot f_{\text{длин}}$
- Частота вращения воздушного винта: $RPM_k = RPM_1 \cdot f_{RPM}$

Весовое подобие:

- Коэффициент массы ДПМ: $f_m = k^3$

Инерциальные характеристики:

• Момент коэффициента инерции:

$f_I = f_{\text{длин}}{}^4 = k^4$.

После расчетов проведен анализ полученных значений, определены наиболее усиленный и ослабленный участки. Возможны такие случаи, когда толщина обшивки вырождается, модель становится невыполняемой. В таких случаях приходится игнорировать законы масштабирования и искать пути решения, соответствующие прочностным требованиям.

Ввиду того, что к современным конструкциям предъявляются такие требования, как высокая прочность при минимальной массе, надежность и долговечность, достаточная жесткость, производственная и эксплуатационная технологичность, аэродинамические показатели, в качестве основного конструкционного материала планера ДПМ выбраны композиционные материалы, хорошо зарекомендовавшие себя по конструктивным и технологическим показателям.

При производстве изделий из композитных материалов используются технологии, различные между собой по степени сложности, стоимости, оборудованию. Выбор той или иной технологии обусловлен объемом выпускаемой продукции, степенью подготовки, экономической оценкой эффективности производства.

Предложенная методика создания свободнолетающей динамически подобной модели апробирована на практике. Проведены расчеты коэффициентов масштабирования и созданы элементы конструкции самолета. Методика предварительных испытаний с использованием динамически подобной модели является мощным инструментом при испытаниях нового летательного аппарата.

Список литературы

1. A. Shakoori, A. V. Betin, D. A. Betin. «Comparison of three methods to determine the inertial properties of free-flying dynamically similar models»// Journal of Engineering Science and Technology Vol. 11, No. 10 (2016) 1360 – 1372.

2. Cen F., Li Q., Nie B.-W., Liu Z.-T., Sun H.S. «Wind tunnel free-flight test for flight dynamics and control system experiments»// 30th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences,

2016.

3. Joseph R. Chambers «Modeling flight. The Role of Dynamically Scaled Free-Flight Models in Support of NASA's Aerospace Programs»// Library of Congress Cataloging-in-Publication Data "NASA SP 2014-575."

DESIGN OF DYNAMIC SCALE MODEL OF LONG ENDURANCE UNMANNED AERIAL VEHICLE

Salavatov I.

Supervisor: I. Zakirov, doctor of technical science, professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Dynamic scale model of aircraft is a model established in accordance with the laws of dynamic similitude and used in the research of flutter and other aeroelastic facts. A result obtained under laboratory conditions was transferred to full-scale aircraft with conversion.

УДК 629.7

МОГУТ ЛИ БЕСПИЛОТНЫЕ САМОЛЕТЫ ЗАМЕНИТЬ ПИЛОТИРУЕМЫЕ САМОЛЕТЫ?

Соколова А.А.
Научный Руководитель: Г.Ш. Закирова, к.п.н., доцент
(Казанский Национальный исследовательский Технический Университет им. А. Н. Туполева, г. Казань)

В статье рассматриваются перспективы развития беспилотных самолетов. Мы провели исследование беспилотных авиационных систем (БАС) и представили сравнительные характеристики беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и пилотируемых летательных аппаратов (ПЛА).

I. Introduction

Today UAS plays an increasing role in many public missions such as border surveillance, wildlife surveys, military training, weather monitoring, and local law enforcement. Many experts believe that behind the unmanned aircraft the future of all aviation. Are the right? Time will tell. At this time, we can only make forecast and conduct a study of the situation in the field of aviation.

II. Unmanned aircraft system

Initially, the main UAS applications refer to armament for this reason the main investments are accumulated for future local wars. Most military unmanned aircraft systems are primarily used for Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR) patrols. They are also used during gas attacks, for Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) detection, considered too dangerous. Besides, UAS are preferred over manned aircraft not only because of risk reduction when flight is unsuccessful and the human life is in danger, but also because unmanned vehicles have better and sustained attention over humans during long operations. Moreover, many other economic and political factors have encouraged the development and operation of UAS. A lot of countries for example, Japanese Ministry of Agriculture, Forest and Fisheries and its affiliated association, the Japanese Agriculture Aviation Association focus on Unmanned aircraft operations.

Also, UAS are better for nuclear, radioactive or dangerous flights than manned aircraft.

Some operations that require more than 30- or 40-h tasks are best conducted using UAS. Then, low workload, low intensity tasks are well to unmanned aircraft. Such tasks can be simply automated, often only demanding human supervision. There are some tasks that could be practiced: pattern of life surveillance tasks over fixed locations or in support of sea maneuver, a range of electronic warfare tasks, acting as a communications relay; and as an air-to-air refueling tanker. Whereas some of these tasks may themselves create more complex or time-sensitive tasks (such as the identification of a fleeting high value target) that may not easily be performed by a simple, single task platform.

UAS are perfect when operations are needed in environments that would be hostile to a manned aircraft or its crew (as happened after World War II,UAS fly into nuclear clouds immediately after bomb detonation, a flight that is very dangerous to people in an aircraft and threatens human lives). For example, airborne sampling or observation goals related to CBRN would be good to unmanned aircraft. Sensors could be installed to a range of types; for example, a small man-portable system for local tactical use, or large aircraft-sized systems for global monitoring. In everyday life small unmanned aircrafts are already used by some fire brigades for reconnaissance fires in inaccessible locations or in flammable atmospheres.

Reconnaissance over hostile territory may result in loss of human lives, whereas UAS are useful. Usually the level of risk of such operation may be too high cost for human lives in the air or on the ground. This may be because of a high ground-to-air danger and there is a number of tasks when unmanned aircraft may take part in inhibition of an integrated air defense system. In such situations numerous, cheap UAS can be used to overwhelm enemy detection and headquarters or to make an enemy to expend large numbers of weapons. Unmanned aircraft can really replace several dangerous ground tasks, such as convoying of tactical, nuclear or radioactive supplies and destroying explosive devices.

III. Comparative characteristics

We carried out a comparative analysis of unmanned and manned aircraft. The results of the study are presented in the table.

Characteristics	**UAV**	**MA**
No risk to the lives of the crew	+	-
The removal of restrictions on flight characteristics determined physiological capabilities of the crew	+	-
Mobile terrestrial infrastructure zero flight time basing	+	-
The possibility of Troubleshooting in the process operation	+	+
The possibility of upgrading and increasing efficiency in the process of operation	+	+
Low cost program of development in devices and getting intelligence	+	-
Globality, extraterritoriality	-	-
Export attractiveness (FTC, Price) and competitiveness	+	-
The ability to perform the job in any weather conditions	+	-/+
The complexity of detection and destruction	+	+/-
Continuous exploration of the region 500x500 km	+	-/+

IV. Conclusion

UAS is a new technology with great future to develop military production and manufacture new civil applications. UAVs are more perfect for nuclear, radioactive or dangerous flights than manned aircraft. But at the same time they can't fully replace manned systems.

References

1. *Kenzo Nonami, Farid Kendoul, Satoshi Suzuki* Wei Wang, Daisuke Nakazawa//Autonomous Flying Robots, Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles‖, ISBN 978-4-431-53855-4, Springer 2010.

CAN UNMANNED AIRCRAFT REPLACE MANNED AIRCRAFT?

Sokolova A.
Supervisor: G. Zakirova, Candidate of Pedagogic Sciences, Docent
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan)

The article examines promising opportunities of unmanned aircraft. We conducted the studies of unmanned aircraft system (UAS) and presented our comparative characteristics of unmanned aircraft vehicle (UAV) and manned aircraft (MA).

УДК 629.735.33

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В АВИАЦИИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Сыромятников А.Д.
Научный руководитель: Р.А. Яковлев
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной статье рассматривается идея связать гибридные автомобильные двигатели, и их применение в легкой авиации. Рассматриваются примеры технологий гибридных двигателей в автомобилестроении. Предлагаются различные варианты применения данной идеи в авиационных двигателях.

На сегодняшний день авиация общего назначения становится менее популярной, чем была раньше. Все из-за того что она не каждому доступна в плане дороговизны на данный вид деятельности. Одна из львиных долей расходования средств – расходы на топливо и горюче-смазочные материалы. В своей статье я хочу рассмотреть идею использования технологий гибридных автомобильных двигателей в легкой авиации.

Сегодня у автомобильной и авиационной промышленности становится очень много общих черт. Например, то, что авиа и автомобилестроение стремятся в своих разработках к легкости всех элементов конструкции.

Рассмотрим пример гибридных технологий в автомобилестроении. С момента начала продаж автомобиля Prius в 1997 г. уже прошло много лет. Этот автомобиль стал первым в мире массовым автомобилем, оснащенным гибридной силовой установкой. С тех пор гибридные системы Toyota (THS) претерпели множество модернизаций, основной целью которых являлось создание автомобиля, максимально дружественного к окружающей среде.

В сознании народа гибридные автомобили воплощают передовой уровень техники и технологии. Поэтому люди, отдавшие

свои предпочтения гибридным автомобилям, будут гордиться за свои приобретения и будут связывать с ними особые ожидания.

Гибридные автомобили имеют особенности, существенно отличающие их от обычных автомобилей. Среди новых элементов конструкции можно отметить такие, как «высоковольтная аккумуляторная батарея», «блок управления мотор-генераторами». Ни один из этих элементов не используется в обычных автомобилях.

Снижение выбросов диоксида углерода для предотвращения глобального потепления климата является глобальной проблемой человечества. Для решения этой проблемы Toyota предлагает наладить выпуск гибридных автомобилей, которые будут иметь по сравнению с обычными автомобилями вдвое меньший расход топлива. Гибридные автомобили используют два различных источника энергии, например, двигатель внутреннего сгорания и электрический двигатель. В случае гибридных автомобилей не требуется зарядка аккумуляторных батарей от внешних источников, как в случае существующих электромобилей. Поэтому для эксплуатации гибридных автомобилей не требуется создание специальной инфраструктуры. Технические разработки в области создания силовых агрегатов (таких как двигатели внутреннего сгорания или топливные элементы) ведутся в различных направлениях. Гибридная система является наиболее гибкой системой, которая включает в себя высокоэффективный источник энергии и электрический двигатель.

Если говорить о том, как реализовывать идею такого решения – использование совместных сил (бензинового и другого источника энергии, будь это природный газ или электричество) на взлете, тк именно в тот момент требуется максимальная мощность, для преодоления земного притяжения. А после взлета и выхода на заданную высоту использовать энергию только от электродвигателя, для дальнейшего полета, захода, и посадки.

Что касаемо применения данной идеи, так есть множество вариантов, где можно применить данную идею. Например, при выводе планеров на высоту используют 2 способа, один с помощью лебедки, а другой с помощью самолета. А смысл самолета-буксира состоит в том, чтобы вывести планер на высоту и сесть. Как раз, то

что и нужно. И это не единственный пример. Рассмотрим ситуацию, когда необходим длительный маршрутный перелет. Взлет производим с помощью двух источников энергии, а далее используем только электричество или другую замену бензиновому двигателю. Если же ко всему прочему добавить еще и солнечные батареи, то можно еще больше увеличить продолжительность и дальность полета.

Необходимо также отмечать тот факт, что использование гибридных двигателей положительно сказывается на окружающей среде, так как происходит меньше вредных выбросов.

Еще стоит отметить то, что безопасность такого полета увеличивается, так как в случае отказа одного типа двигателя, можно спокойно дойти до ближайшего аэродрома, или безопасно сесть на ровной площадке на другом типе.

В заключении хочется сказать о том, что если данная мысль будет проверена на практике, то можно сказать с уверенностью о её положительном или отрицательном эффекте для авиации общего назначения.

Список литературы

1. Учебное пособие по гибридным системам Toyota – technical service division toyota motor corporation – 2007 г.

USE OF TECHNOLOGIES OF HYBRID AUTOMOBILE ENGINES IN AVIATION OF GENERAL PURPOSE

Syromiatnikov A.
Supervisor: R. Yakovlev
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

This article discusses the idea of linking hybrid automotive engines, and their application into light aviation. Examples of hybrid engine technologies in the automotive industry are considered. There are various options of applying this idea to aircraft engines.

УДК 621.694.31

РАЗРАБОТКА ГЛУШИТЕЛЯ ШУМА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО КЛАПАНА КАМЕРЫ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ

Теляшов Д.А., Суховая Е.А., Ахметшина А.И.
Научный руководитель: Г.И. Павлов, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Камеры пульсирующего горения давно используются в теплоэнергетике. Это объясняется простотой конструкции, полнотой сгорания топлива и высоким КПД. Препятствующим фактором более широкого внедрения камер пульсирующего горения в различные отрасли является повышенный уровень шума.

Камеры пульсирующего горения (КПГ) давно используются в теплоэнергетике. Также они находят применение в качестве двигателей на беспилотных летательных аппаратах [1]. Однако, широкое их внедрение ограничивается повышенным уровнем шума. Снижением шума КПГ занимаются многие исследователи. Несмотря на это, эффективные шумоглушители для КПГ промышленностью не выпускаются. Наиболее проблемным с точки зрения шумоподавления является шум АК, так как АК в один момент времени должен обеспечить надежное запирание полости камеры сгорания, в другой момент времени – обеспечить полноту поступления окислителя воздуха в зону горения.

Авторы данной статьи предлагают глушитель шума АК комбинированного типа, основанного на диссипации механической энергии импульсного характера в закрытой трубе и в псевдоожиженном слое. В научно-технической литературе опубликованы сведения по уменьшению звуковой энергии с использованием неподвижных сферических тел [2,3,4]. В основу исследования авторов заложен вышеуказанный способ шумоглушения, отличающийся тем, что сферические тела имеют возможность двигаться в пространстве друг относительно друга. по всем направлениям. По-

дробное описание глушителя шума, функционирующего по такому принципу приведено в работе [5]. При проектировании глушителя шума АК важным моментом является правильная организация газодинамических процессов. В работе [1] представлены результаты опытов по визуализации движения воздушного потока методом добавления воды через капилляры. Замечено, что структура воздушного потока в клапане сложная и состоит из двух противоположно направленных течений: в пристеночном слое газовый поток направлен внутрь камеры, в ядре потока – в противоположную сторону. Научные результаты, полученные авторами статьи, являются дополнением к имеющемуся материалу и является новым. На основе псевдоожиженного слоя впервые предложен глушитель шума для КПГ с аэродинамическим клапаном (рисунок 1).

Рис. 1. Техническая схема глушителя шума АК

Опытным путем установлено, что псевдоожиженный слой достаточно эффективно поглощает акустическую энергию на средних и высоких частотах [6,7]. Причем, по сравнению с другими методами эффективность глушения шума в псевдоожиженном слое на 8-10 Дб выше при тех же значениях гидравлического сопротивления. Уровень звукового давления на низких частотах удалось снизить за счет подбора длины камеры глушителя. Длина ка-

меры определялась экспериментальным путем. В работе приведены [5] спектры акустических сигналов, из которых видно, что «энергонесущие» частоты КПГ - это низкие частоты. Из литературы известно, что звуки на низких частотах эффективно снижаются глушителями реактивного и резонансного типов. Основываясь на этом, авторами был разработан экспериментальный стенд для исследования влияния длины камеры на низкочастотную составляющую шума АК. Общий вид стенда приведен на рисунке 2. Рабочим участком являлась цилиндрическая труба длиной 2000 мм и диаметром 150 мм. На одном из концов трубы соосно цилиндрической камере располагался АК. Срез трубы клапана был удален от торцовой стенки камеры на 5-8 мм. В другой конец трубы вставлялся поршень, положение которого могло меняться.

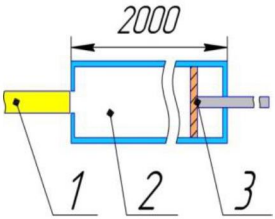


Рис. 2. рабочий участок по снижению низкочастотного шума
1 – аэродинамический клапан, 2 – полая труба, 3 – поршень

Целью проведения опытов явилась определение влияния длины камеры на уровень звукового давления на низких частотах. Опыты проводились в следующем порядке: запускалась камера пульсирующего горения. Включался измерительный комплекс, датчик которого регистрировал акустический сигнал в зоне расположения аэродинамического клапана. Далее записанный сигнал обрабатывался при помощи программы Сигнал+, в результате которого определялись энергонесущие частоты. Опыты показали, что изменение длины камеры существенного влияния на общий уровень шума не оказывает, но влияет на перераспределение звуковой энергии между гармониками. Определялась такая длина камеры, при которой уровень звукового давления на минимальной частоте

была наименьшей. Результаты исследований в виде численных величин приведены в таблице 1.

Таблица 1

Местонахождение поршня от среза клапана	400 мм	650 мм	1200 мм	1900 мм
Частота f, Гц	82 Гц	82 Гц	82 Гц	82 Гц
max L, дБ	95 дБ	84 дБ	102 дБ	108 дБ
Частота f, Гц	160 Гц	160 Гц	160 Гц	250 Гц
max L, дБ	86 дБ	96 дБ	76 дБ	105 дБ

Из табличных данных видно, что уровень звукового давления на наименьшей частоте, равной 82 Гц эффективно снижается, когда длина камеры равна 650 мм. Данная длина камеры является оптимальной для подавления низкочастотного звука. При этом несколько повышаются уровни звукового давления на более высоких частотах. Акустическая энергия на этих частотах весьма эффективно рассеивается в псевдоожижженном слое. Интересные результаты получены по влиянию элементов конструкции глушителя поотдельности на общий уровень шума, излучаемого АК. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Элемент (ы) глушителя шума	Частота f, 86 Гц	Частота f, 172 Гц
	Уровень звукового давления L, дБ	
Корпус глушителя (3)	114	107
Корпус глушителя (3) + каскадная крышка с патрубком (8)	84	86
Корпус глушителя (3) + псевдо-ожиженный слой (5)	103	102
Корпус глушителя (3) + каскадная крышка с патрубком (8) + псевдо-ожиженный слой (5)	85	76

Из экспериментальных данных видно, что разработанный глушитель шума эффективно снижает шум КПГ на всех гармониках. Наиболее активно глушится шум газового потока на более высоких гармониках за счет псевдоожиженного слоя. Псевдоожиженный слой образуется за счет механической энергии выхлопных газов, которая складывается из акустической энергии и механической энергии движения усредненного потока. Основная частота снижается за счет реактивной составляющей глушителя шума – длины камерые. Получен эффект перераспределения звуковой энергии с низких частот на высокие, что позволяет упрощать снижение шума на низких частотах.

Список литературы

1. Быченок В.И. Теплоэнергетика рабочего процесса в аппаратах пульсирующего горения // Дис. док. техн. наук: 05.14.04 / В.С. Северянин - Защищена 2004 – Воронеж, 2004. – 339 с.

2. И.Г. Филиппов, О.А. Егорычев. Нестационарные колебания и дифракция волн в акустических и упругих средах // М., Машиностроение, 1977. 304 с.

3. Журнал Прикладной механической и технической физики // «Наука» №3 (133),1982. 176 с.

4. В.Н. Алексеев, А.Г. Семенов, А.Т. Скворцов. Рассеяние звука потенциальным течением, возникающим при движение сферы // Акустический журнал. Том 41. №6. 1995. 876 – 882.

5. Использование псевдокипящего слоя в глушителе шума аэродинамического клапана камеры пульсирующего горения. Тинчуринские чтения 2017 // Том 2 . 26 – 28 апреля 2017 года, г, Казань. 2017. – 412 с.

6. Исследование влияния звукопоглощающего материала на характеристики глушителя. АКТО-2014 (том 1), Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности 5-8 августа 2014 года, г. Казань

7. Экспериментальные исследования эффекта глушения шума в супесчаной в «псевдокипящей» среде. IX Школа – Семинар молодых ученых и специалистов академика РАН В.Е.Алемасова

Проблемы теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении 10-12 сентября 2014 года, г. Казань.

DEVELOPMENT OF A SILENCER OF THE AERODYNAMIC VALVE CHAMBER PULSATING COMBUSTION

Telyashov D., Sukhovaya E., Ahmetshina A.
Supervisor: G. Pavlov, doctor of technical sciences, professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Camera pulsating combustion have long been used in power. This is due to the simplicity of design, efficient combustion and high efficiency. Discourage the greater use of pulsating combustion chambers in various sectors is the increased noise level.

УДК 623.74

МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭТАПЕ ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЭКРАНОПЛАНА

Утенков М.Д.
Научный руководитель: Р.Н. Агаев, к.т.н., доцент
(ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж)

Экраноплан – результат синтеза нового класса транспортных средств на основе специальных экспериментально-теоретических исследований, с учетом опыта создания и эксплуатации смежных транспортных средств: судов и самолетов. Методология создания скоростных судов (в том числе экранопланов) на основе экспериментальных и теоретических моделей, разработанная Р.Е. Алексеевым, позволила создать первоклассные суда на подводных крыльях, экспериментальные и опытные экранопланы. Дальнейшее совершенствование методологии состоит в постоянном переходе от содержательных и материальных моделей к логико-математическим, путем увеличения базы фундаментальных структурированных данных.

Расширение базирования и возможностей действия в Черном море, северных широтах России позволяют нам размышлять о совершенствовании ведения боевых действий в акваториях мира, не забывая об океанских просторах на востоке. Выполнение различного рода задач, таких как прорыв противовоздушной и иной обороны противника, разведка и нанесение неожиданного удара, даже при современном уровне развития военной техники, может быть связано с различными трудностями и проблемами. Для решения этих проблем предлагается применение беспилотного ударного экраноплана.

К достоинствам экранопланов можно отнести их высокую по сравнению с судами скорость, неуязвимость для минно-торпедного оружия, высокую по сравнению с самолётами массу (а, следовательно, дальность, боевую нагрузку, мореходность, огневую мощь и живучесть), низкую радиолокационную заметность и малую уязвимость от средств противовоздушной обороны. Трудности радиолокационного обнаружения данного класса летательных аппаратов обусловлена тем, что весь полёт

проходит на высоте в несколько метров над поверхностью воды, а малая уязвимость от ракет класса «земля-воздух» и «воздух-воздух» связана с трудностью захвата целей данного класса как тепловыми, так и радиолокационными головками самонаведения [1].

Для создания нового проекта необходимо собрать все фундаментальные знания в области разработки экранопланов. Но как раз именно этого компонента не хватает даже в современных условиях. В следствии отсутствия подтвержденных теорий, единого метода в разработке данного вида летательного аппарата, а также структурированных фундаментальных знаний, неизбежно приходиться все начинать с самого начала, от подтверждения тех или иных теорий, до принятия каких-либо новых, ранее не рассматриваемых решений при создании принципиально нового, «экзотического» транспортного средства как экраноплан. [2].

Недостаток фундаментальных знаний в сфере проектирования и создания экранопланов приводят к сложности расчета параметров, разрабатываемого экраноплана и их теоретического обоснования. Создание эскизного проекта на основе расчетов первого приближения сводится к получению внешнего облика, проектируемого экраноплана. Как говорилось выше, взяв за прототип уже существующий экраноплан, применив аэродинамическую схему, удовлетворяющую требованиям самостабилизации, а также различные конструкторские решения, основанные на опыте проектирования экранопланов, стоит говорить о создании эскизного проекта беспилотного экранопална, основанного на анализе различных математических и материальных моделей.

Самым высокоэффективным способом проектирование является создание модели и проведение натурных испытаний с целью получения точных данных для усовершенствования конструкции, аэродинамической схемы.

Для выработки аэрогидродинамической модели экраноплана производится изучение процессов движения на частных моделях: аэротрубных, буксируемых над водной поверхностью, буксируемых над твердой поверхностью и, наконец, в исключительных случаях, с помощью радиоуправляемых моделей. Переход от частных моделей к обобщенной (суммирование результатов исследований частных моделей) представляет собой очень сложный творческий процесс. Совокупность этих исследований позволяет выработать рациональную аэрогидродинамическую

модель для разрабатываемого типа экраноплана. Отбор наилучшего варианта производится по критерию: аэрогидродинамическое качество, умноженное на скорость (этот критерий, по аналогии с коэффициентом производительности транспортного средства, в целом можно трактовать как коэффициент производительности аэрогидродинамической модели экраноплана). Под аэрогидродинамической моделью проекта экраноплана (по Р.Е. Алексееву) понимается теоретическая (знаковая) модель, описывающая форму корпуса и соотношение его главных размеров, форму и соотношение размеров крыльевых систем, взаимное расположение корпуса и крыльев, расположение энергетической установки, тип и характеристики взлетно-посадочного устройства (лыжно-амортизирующее устройство, воздушно-амортизирующее устройство, убираемы подводные крылья малой площади и др.) в совокупности с информацией о скоростных, мореходных и амфибийных свойствах экраноплана. Логично поставить вопрос о возможности создания логикоматематической аэрогидродинамической модели экранопланов, аналогичной в некотором смысле логико-математической модели водоизмещающих судов. Следует заметить, что это сложная проблема формализации накопленных знаний. На данном этапе развития экранопланостроения необходимо, по возможности, фиксировать найденные рациональные решения в наиболее формализованном виде, вырабатывать соответствующие формализованные понятия. Создание логико-математической аэрогидродинамической модели экранопланов следует рассматривать как предельный результат работ в этой области. Основным способом решения задачи будет оставаться способ получения информации путем экспериментально-теоретических исследований. Такие глубокие исследования должны использоваться для повышения качества экспериментально-теоретических исследований [3].

Для начальных этапов проектирования наиболее эффективным стоит принять метод, опирающийся на глубокую модернизация какого-либо выбранного прототипа. За прототип целенсообразно взять стоявший на вооружении ударный экраноплан «Лунь». На основе анализа существовавших проектов экранопланов, а также статистических показателей эффективности принятых решений создана виртуальная модель в прогрммной среде Solid Works. Модель проектируемого экраноплана представлена на рисунках 1,2.

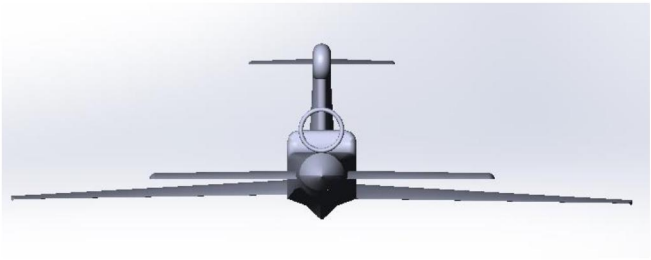


Рис. 1. Внешний вид проектируемого экраноплана

При использовании авиационных двигателей на экраноплане имеем что коэффициент полезного действия движителя является величиной неизменной, а значит коэффициент транспортной эффективности экраноплана в 2-4 раза выше чем у существующих скоростных транспортных средств (самолеты, вертолеты)

Использование беспилотного экраноплана позволяет увеличить экономическую отдачу по сравнению с самолетами (сопоставимого взлетного веса и полезной нагрузки). Это связано с тем, что для экраноплана характерно высокое аэродинамическое качество, влияющее как на эффективность аэродинамической компоновки, так и в конечном итоге на расход топлива . Более того, экраноплан взлетает с воды, следовательно, ему не требуется дорогостоящие аэродромы. Кроме того, экраноплан обладает такими качествами как манёвренность, значительная грузоподъемность, большой радиус действия [4].

Результатом анализа существующих проектов, а также способов и методов разработки существующих и перспективных экранопланов являются следующие выводы:

- первостепенной задачей проектирования экранопланов является создание структурированных фундаментальных знаний
- применение современных технологий расчета позволят существенно уменьшить время создания проекта, и его реализацию
- метод создания и исследования с помощью различных моделей является наиболее эффективным.

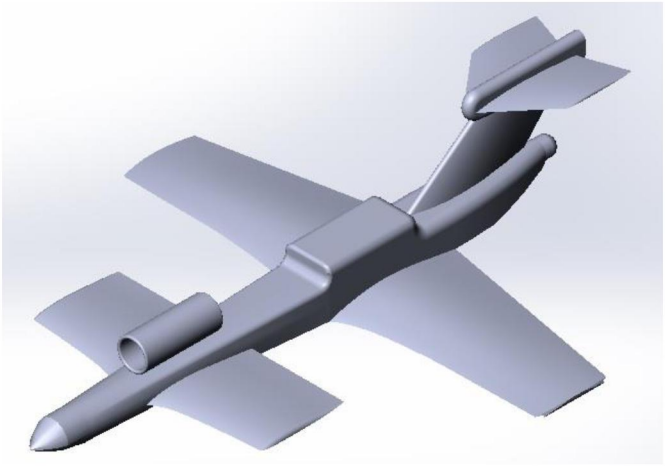


Рис. 2. Внешний вид проектируемого экраноплана

Испытание натурной модели позволят с высокой точностью оценить устойчивость и управляемость экраноплана, а также создаваемый самостабилизирующий эффект, что позволяет оценить эффективность используемой аэродинамической схемы. Поэтому по итогам эскизного проектирования первостепенной задачей является создание натурной модели для испытания, а в последствии усовершенствования конструкции, аэродинамической компоновки, и других параметров на основе анализа полученных экспериментальных данных.

Список литературы

1. Петров Г. Ф. Гидросамолеты и экранопланы России: 1910-1999. — Русавиа, 2000. — 248 с.

2. Жуков, В.И. Особенности аэродинамики, устойчивости и управляемости экраноплана / В.И. Жуков. - М.: Издательский отдел ЦАГИ, 1997.

3. Кузовенков, Б.П. О значении экспериментальных оценок прочности при проектировании судов с динамическими принципами поддержания: сб. НТО им. акад. А.Н. Крылова. - Л., 1975

4. Красильникова О.А., Зайцев А.В. Экономические аспекты организации высокоэффективности системы на базе экранопланов нового

поколения // Успехи современного естествознания. – 2011. - №7. – с. 130-132;

MODELING AT THE STAGE OF PRELIMINARY DESIGN OF AN UNMANNED EKRANOPLAN

Utenkov M.

Supervisor: R. Agaev, candidate of technical sciences, assistant professor

(Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh)

Ekranoplan is a result of synthesis of a new vehicle class based on application investigation, theoretical research and on the creating and operating experience of the connecting conveyance such as vessels and airplanes.

Methodology of the high-speed vessels engineering (including ekranoplans), basing on the experimental and abstract models, created by R.E. Alekseev, made it possible to create first-class hydrofoil vessels, experimental and prototype model of ekranoplans.

Further improvement of the methodology consists of continuous transition from conceptual and material models to the logical-mathematical ones by increasing the fundamental and structured database.

УДК 533.694

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ КРЫЛА, УПРАВЛЯЕМЫХ И СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА АЭРОДИНАМИКУ САМОЛЕТА

Чипак С.В., Овсеец А.С.
Научный руководитель Г.В. Галли, к.т.н.
(Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, г. Санкт-Петербург)

Доклад посвящен проблемам определения изменения аэродинамических характеристик, балансировки самолета при отклонении механизации, элеронов, сравнению схем и конструкций управляемых поверхностей. Приведены рекомендации выбора профилей хвостового оперения для разных типов самолетов.

В учебных пособиях не достаточно места уделяется сущности явления реверса элеронов [1]. Основная проблема – отсутствие понимания величины смещения фокуса крыла при отклонении элерона. В некоторых учебниках [2] приращение подъемной силы прикладывают непосредственно к шарниру элерона. Если мы рассмотрим аэродинамические исследования элеронов, то увидим не значительное смещение фокуса крыла назад и практически всегда впереди оси жесткости крыла. Таким образом, реверс элерона на прямом крыле практически невозможен. Поэтому самолеты с прямым крылом не имеют элерон-интерцепторов, только воздушные тормоза. В стреловидном крыле реверс элерона происходит, из-за расположения оси жесткости участка крыла с элероном позади корневого участка без элерона.

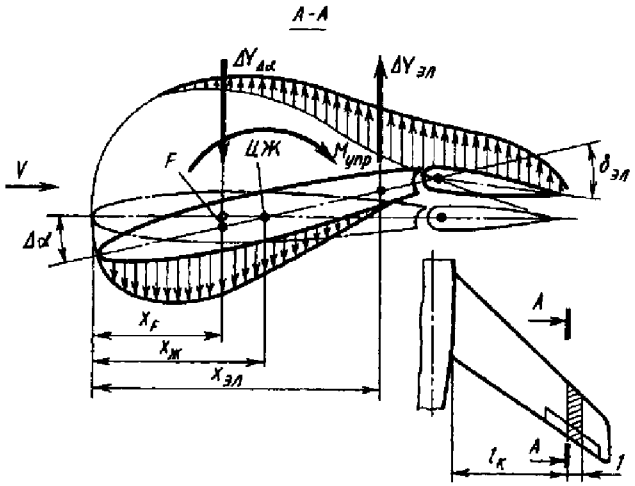


Рис.1. Схема сил при рассмотрении явления реверса элеронов, заданная не правильно

В малой авиации часто применяется перевернутый плосковыпуклый профиль для горизонтального оперения. Поскольку оперение в полете работает на малых углах атаки, большую роль играет момент при нулевой подъемной силе профиля, а он у перевернутого профиля направлен в сторону пикирования – т.е. в обратную правильной балансировки самолета. Это приводит к потере аэродинамического качества. При увеличении подъемной силы качество возрастает по сравнению с классическим симметричным профилем оперения. Также, например в описании самолета Stol CH-701 конструктора Криса Хайнца из США объясняется применение перевернутого профиля из-за дифференциального характера градиента подъемной силы по углу атаки – при поднятии руля вверх градиент больше, что не требует увеличивать угол отклонения руля на кабрирование по сравнению с пикированием. В докладе делается вывод об аэродинамических потерях на крейсерском режиме оперения с таким профилем.

Отмечается отсутствие атласных характеристик современных суперкритических профилей в литературе.

Многие рекордные самолеты, например Модель 76 «Вояджер» 1986 г. Берта Рутана или его же пассажирский «Бичкрафт Старшип» выпускавшийся серийно в 1988 – 1995 годах выполнены по схеме «утка», но до сих пор объективно не изучены преимущества и недостатки такой схемы по сравнению с традиционной схемой «самолет» [3]. С одной стороны – переднее горизонтальное оперение имеет положительную подъемную силу, увеличивая аэродинамическое качество, с другой – положительный угол атаки переднего оперения гораздо больше отрицательного заднего оперения в традиционной схеме, что вызывает необходимость увеличить площадь оперения в схеме «утка», чтобы иметь такую же эффективность управления, как в схеме «самолет». Бо̀льший угол атаки переднего оперения необходим из-за того, что переднее оперение смещает фокус самолета вперед, а заднее назад, и для смещения центра давления, а с ним и необходимого положения центра тяжести вперед – для схемы утка приходится больше увеличивать подъемную силу на переднем оперении, чем уменьшать в схеме «самолет» на заднем горизонтальном оперении. В докладе ставятся вопросы и даются направления поиска преимуществ этих схем на основе компромисса между аэродинамическим качеством и управляемостью. Особенно важно отметить, что практически не изучены штопорные характеристики схемы «утка».

В конце доклада делается вывод влияния (уменьшения) продольной устойчивости самолета с механическим управлением с отпущенной при введении аэродинамической компенсации для руля высоты. Также делается попытка измерить зависимость увеличения аэродинамического качества от уменьшения запаса продольной устойчивости современных магистральных самолетов.

Список литературы

1. Житомирский Г.И. Конструкция самолетов. – М.: Машиностроение, 2005. – 406 с.

2. А.А.Комаров, А.А.Кудинов, В.И.Зинченко. Конструкция и эксплуатация воздушных судов. – М.: Транспорт, 1986.- 344 с.

3. Бадрухин Ю.И., Вишняков Н.А., Деришев С.Г. и др. Руководство для конструкторов летательных аппаратов самодеятельной

постройки (РДК СЛА), т.1. Общие технические требования. Аэродинамика. – Новосибирск: СибНИА им. С.А.Чаплыгина, 1989. – 247 с.

4. Николаев Л.Ф. Аэродинамика и динамика полета транспортных самолетов: Учеб. Для Вузов. – М.: Транспорт, 1990. – 392 с.

THE IMPACT OF THE MECHANIZATION OF THE WING, MANAGED AND STABILIZING SURFACES ON THE AERODYNAMICS OF THE AIRCRAFT

Chipak S., Ovseec A.
Supervisor: G. Galli, Candidate of Engineering Sciences
(Saint-Petersburg state University of civil aviation, Saint-Petersburg)

The report focuses on the problems of determining the variation of aerodynamically characteristics, balancing of the aircraft in deviation of mechanization, ailerons, and comparison of schemes and designs of the control surface. Given the recommendations of the selection profiles of the tail for different airplane types.

УДК 924.5.46

ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЯ В БОРТОВОЙ АППАРАТУРЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И УЧЕТ ИХ В НАДЕЖНОСТИ

Шангина Е.А.
(Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»)

Одной из причин, не позволяющих достичь требуемого уровня надежности космических аппаратов, является ионизирующее излучение космического пространства. Приведена методика, учитывающая частоты сбоев и возникновения возможных катастрофических отказов в бортовой аппаратуре КА.

На этапе летной эксплуатации космических аппаратов предыдущих проектов преобладают отказы комплектующих электрорадиоизделий. Часть этих отказов в период летных испытаний и эксплуатации вызвана воздействием дозовых эффектов ионизирующих излучений космического пространства или тяжелых заряженных частиц. Они сдерживают развертывание орбитальных группировок и увеличивают сроки летных испытаний космических аппаратов.

По результатам анализа эксплуатационной надёжности на долю отказов и неисправностей комплектующих электрорадиоизделий (ЭРИ) бортовой аппаратуры БА при эксплуатации в составе КА приходится свыше 50% от общего количества выявляемых неисправностей, среди них вызванных ионизирующим излучением до 30÷50% отказов БА.

Из всего спектра возможной космической радиации наиболее опасными по последствиям являются длительные низкоинтенсивные ионизирующие воздействия, вызывающие дозовые эффекты, а также воздействия тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ), вызывающие эффекты смещения.

При разработке КА нового поколения одним из основных принципов обеспечения высокой эксплуатационной надежности бортовой аппаратуры КА с длительными САС являются уровни надёжности и подтвержденная радиационная стойкость элементной базы к дозовым эффектам, а также влияние стойкости отдельных электронных компонентов к эффектам смещения на надёжность БА.

Алгоритм поэтапной оценки надёжности БА, надёжность ЭРИ, составных частей и БА в целом преведен в [1] и представляет собой оценку надежности БА по принципу «от простого к сложному» (функциональные устройства – приборы – БА). Основным рассматриваемым показателем является надежность комплектующих ЭРИ.

Установлено, что качество бортовой аппаратуры КА, применяемой в условиях внешних воздействующих факторов космического пространства, обеспечивается методами анализа, определения и подтверждения фактической радиационной стойкости летных партий ЭРИ отечественного производства к дозовым эффектам ионизирующих излучений космического пространства по результатам испытаний и методами обеспечения надежности и оценки бортовой аппаратуры с учетом фактической стойкости к тяжелым заряженным частицам космического пространства.

Применяемая на практике нормативная функция надёжности ЭРИ БА имеет вид [4]:

$$P_{ЭРИ_i} = \lambda_{Э_i} = \lambda_{б.с.г._i} K_P K_{ПР} K_Э , \qquad (1)$$

где $\lambda_{б.с.г.}$ - исходная (базовая) среднегрупповая интенсивность отказов типа (группы) ЭРИ, приведенная к условиям: номинальной электрической нагрузки при температуре окружающей среды 25°С; n – количество ЭРИ определенного типа; $\lambda_{Э_i}$ – эксплуатационная интенсивность отказов $i-го$ ЭРИ определенного типа; K_P – коэффициент режима; $K_{ПР}$ – коэффициент приемки; $K_Э$ – коэффициент эксплуатации.

Позже был введен коэффициент $K_{итц}$, учитывающий дополнительные испытания [4].

После введения дополнительного коэффициента, формула (1) имеет вид (2):

$$P_{ЭРИ_i} = \lambda_{Э_i} = \lambda_{б.с.г._i} K_Р K_{ПР} K_Э K_{итц} \quad (2)$$

При этом в соответствии с [4]:

$$K_{итц} = k_{РФА} k_{УН} k_Д, \quad (3)$$

где $k_{РФА}$ – разрушающий физический анализ; $k_{УН}$ – классификация по ужесточенным нормам; $k_Д$ – оценка дрейфа параметров; $K_{итц}$ – дополнительный к нормативным коэффициент, учитывающий объем дополнительных испытаний летных партий ЭРИ в испытательном техническом центре (ИТЦ) перед комплектацией в летные образцы БА и повышение надежности летных партий ЭРИ, прошедших дополнительные испытания, за счет отсеивания потенциально ненадёжных ЭРИ [4].

В соответствии с [3] в коэффициентной модели может быть применен нормативный коэффициент влияния ИИКП $K_{ИИ}$, однако он не может быть применен напрямую в коэффициентной модели, т.к. коэффициент $K_{ИИ}$ для величины накопленной дозы необходимо сначала подтвердить. Например, коэффициент для накопленной дозы 40 крад $K_{ИИ}$ = 1,1. примерные расчеты надежности БА с использованием $K_{ИИ}$, показывают снижение ВБР БА.

Выборочные испытания летных партий ЭРИ на дозовые эффекты проводятся в институте неразрушающего контроля.

Общая модель безотказности нерезервированной БА с учетом дополнительных испытаний летных партий ЭРИ в ИТЦ, и выборочных испытаний летных партий ЭРИ на стойкость к дозовым эффектам ИИКП с учетом величины накопленной дозы, имеет вид

$$P_{БА_{ИИ}}(t) = e^{-\left(\sum_{m=1}^{m} \lambda_{эр} = f(\lambda_{б.с.г_i}; K_Р, K_{ПР}, K_Э, K_{итц}, K_{ИИ})\right)t}, \quad (4)$$

где: $P_{БА_{ИИ}}$ – ВБР БА с учетом дозовых эффектов ИИКП; $\lambda_{э_Р}$ – реальная эксплуатационная интенсивность отказов БА с уче-

том влияния ИИКП; $K_{ИИ}$ – коэффициент влияния ионизирующего излучения на надёжность ЭРИ; t – время работы БА в течение срока активного существования КА.

Установлено, также, что если при учете стойкости БА, имеющей в составе критичные к дозовым эффектам ЭРИ, возникает несоответствие между полученной ВБР БА и ВБР требуемой по техническому заданию, то должны быть приняты защитные схемно-конструктивные меры по обеспечению требуемой надежности БА с учетом данной радиационной составляющей.

Кроме низкоинтенсивного излучения, на ЭРИ БА оказывает воздействие ТЗЧ космической радиации. Поэтому необходимо рассмотреть возможность уточнения оценки надёжности БА с учётом воздействия ТЗЧ, которая приведена в выражениях (4-7):

$$Q = 1 - P_T, \tag{5}$$

$$P_T = e^{-\left(\nu_{БА}^{T} + \nu_{БА}^{сб}\right)t}, \tag{6}$$

$$P_{БА}^{T} = P_{БА}^{АН} P_T, \tag{7}$$

где Q – вероятность возникновения катастрофического отказа в БА за счет действия ТЗЧ КП; P_T – ВБР БА по сбоям и одиночным отказам, вызванным воздействием заряженных частиц КП; $\nu_{БА}^{T}$ – частота возникновения возможных отказов БА с учетом принятых мер по предотвращению отказов БА; $\nu_{БА}^{сб}$ – частота возникновения возможных сбоев БА с учетом принятых мер по предотвращению сбоев БА; t – время, в течение которого БА находится в включенном состоянии при установленном САС КА; $P_{БА}^{T}$ – вероятность безотказной работы БА с учетом стойкости БА, имеющей в составе критичные к действию ТЗЧ ЭРИ; $P_{БА}^{АН}$ – расчетная аналитическая оценка ВБР БА (так называемая аппаратная составляющая), полученная по методологии [3] с учетом справочных значений $\lambda_{б.с.г.}$ ЭРИ и структурных схем надёжности БА, режимов работы ЭРИ в БА, воздействующих факторов (кроме ИИ КП), дополнительных факторов, зависящих от принятых схемно-конструктивных решений;

С учетом суммарных частот сбоев и одиночных отказов составных частей БА, вызванных действием заряженных частиц от различных источников, выражение (5) принимает вид [1]:

$$P_{БА}^{T} = P_{БА}^{АН} e^{\left[-\left(\sum\limits_{k=1}^{k} \nu_{БА_k}^{сб} + \sum\limits_{k=1}^{k} \nu_{БА_k}^{T}\right)t\right]}, \quad (8)$$

где $\sum\limits_{k=1}^{k} \nu_{БА}^{сб}$ – суммарная частота возникновения сбоев в единицу времени составных частей БА от действия заряженных частиц $k-ых$ источников с учетом толщины защиты; $\sum \nu_{БА}^{T}$ – суммарная частота возникновения возможных одиночных отказов в БА от действия ЗЧ $k-ых$ источников с учетом толщины защиты; k – количество источников ТЗЧ (ГКЛ, СКЛ, ЕРПЗ).

Частоты сбоев и возникновения возможных катастрофических отказов БА за счет действия ЗЧ КП от $k-го$ источника определяются по формуле (8):

$$\nu_{БА_k}^{сб} = \sum_{i=1}^{n} n_{ЭРИi} \left[\int_{L_0}^{L_{\max}} \sigma_i(L)\varphi_{ТЗЧ}(L)dL + \int_{E_{op}}^{E_{\max}} \sigma_i(E)\phi_P(E)dE \right] \quad (9)$$

где $\nu_{БА}^{k}$ – частота сбоев в аппаратуре от ЗЧ $k-го$ источника в единицу времени, $с^{-1}$; $n_{ЭРИ_i}$ – количество применённых в БА ЭРИ $i-го$ типа; n – количество применённых в БА типов ЭРИ с различающимися зависимостями $\sigma_i(L), \sigma_i(E); \sigma_i(L), \sigma_i(E)$ – зависимости сечений сбоев ЭРИ $i-го$ типа от ЛПЭ ТЗЧ и энергии протонов, соответственно, $см^{-2}$; $\varphi_{ТЗЧ}(L)$ – дифференциальный ЛПЭ спектр плотности потока ТЗЧ, $част.см^{-2}с^{-1}МэВ^{-1}см^{-2}г$; $\varphi_{ТЗЧ}(E)$ – дифференциальный энергетический спектр плотности потока протонов $част.см^{-2}с^{-1}МэВ^{-1}$; L_0 – пороговое значение ЛПЭ, $МэВсм^{2}г^{-1}$; L_{op} – пороговое значение энергии протонов, $МэВ$; $L_{\max}$ – максимальное значение ЛПЭ в спектре ТЗЧ,

$МэВсм^2г^{-1}$; $E_{\max}$ – максимальное значение энергии протонов в спектре протонов.

$$\nu^T_{БА_k} = \sum_{i=1}^{n} n_{ЭРИ\,j} \left[\int_{L_0}^{L_{\max}} \sigma_i^T(L)\varphi_{ТЗЧ}(L)dL + \int_{E_{op}}^{E_{\max}} \sigma_i^T(E)\phi_P(E)dE \right] \hbar \quad (10)$$

где $\sigma_i^T(L), \sigma_i^T(E)$ – зависимости сечений возникновения одиночных отказов ЭРИ (тиристорный эффект, пробой) от ЛПЭ ТЗЧ и энергии протонов, соответственно.

Представлены результаты расчетов показателей безотказности некоторых видов бортовой аппаратуры, вызванное воздействием низкоинтенсивных ионизирующих воздействий и ТЗЧ, показали снижение расчетной вероятности безотказной работы бортовой аппаратуры с учетом радиационных защелок в ЭРИ от действия тяжелых заряженных частиц и дозовых эффектов, не приводящих и приводящих к отказу бортовой аппаратуры. Установлено, что если при учете стойкости бортовой аппаратуры, имеющей в составе критичные к действию заряженных частиц ЭРИ, возникает несоответствие между полученной вероятностью безотказной работы бортовой аппаратуры и требуемой по техническому заданию, то должны быть приняты защитные схемно-конструктивные меры по обеспечению требуемой надежности бортовой аппаратуры с учетом радиационной составляющей.

Список литературы

1. 2017 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. - Astana: S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. Kazakhstan, Astana, June 29–30, 2017, IEEE Catalog Number: CFP17794-CDR. ISBN: 978-1-5090-1080-6.

2. Испытания электронных компонентов из лётных партий к дозовым эффектам для гарантии стойкости бортовой аппаратуры космических аппаратов / В.М. Зыков, Ю.В. Максимов, И.А. Максимов и др. // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. ак. М.Ф. Решетнева. Том 16, №4, 2015, С. №881-891.

3. Справочник «Надежность ЭРИ». – М.: Изд. 22 ЦНИИИ МО, 2006.

4. Федосов В.В. Повышение надежности радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов при применении электрорадиоизделий, прошедших дополнительные отбраковочные испытания в специализированных испытательных технических центрах / В.В. Федосов, В.Е. Патраев. М: Научтехлитиздат. «Авиакосмическое приборостроение». 2006. №10. С. 50–55.

NFLUENCE OF LOW-INTENSITY EXPOSURE OF SPACE FACTORS ON ELECTRIC DIVISION IN THE BOARD APPARATUS OF SPACE APPLIANCES AND ACCOUNTING THEM IN RELIABILITY

Shangina E.

(Joint-Stock Company «Academician M.F. Reshetnev» Information Satellite Systems»)

The analysis of operational reliability of foreign and domestic space vehicles is carried out. It is established that one of the reasons that do not allow achieving the required level of reliability of space vehicles is the ionizing radiation of outer space. A technique is given that takes into account the failure rates and the occurrence of possible catastrophic failures in the onboard equipment of the spacecraft.

ПОДСЕКЦИЯ 1.2

ПРОЧНОСТЬ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

УДК 536:629.7

ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THERMAL THIN-WALL STRUCTURE BASED ON SUPER-ELEMENT METHOD

Yuan Xiao
Scientific Supervisors: Z.J. Wang, Ph.D., prof, A.S. Kretov, D. Sc., prof
(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing)

In this paper, a super-element method is proposed for the analysis of thermal thin-wall structure. Then several typical thin-wall structures are analyzed. The results show that the method has high computational efficiency and a certain precision.

Introduction

High-speed aircraft is inevitably subjected to aerodynamic heating problems in the atmosphere. The high temperature may causes many adverse effects on the structures, such as thermal stresses. Therefore, it is a challenge in the design of the high speed aircraft to deal with structures with high temperature.

Many researchers have studied the thermal effect on structure using finite element software. However, finite element modeling is complicated and time consuming. With high computational efficiency and a certain precision, the super-element model is suitable for thin-wall structure. Therefore, the super-element method has a wide potential application in thermal structure analysis.

Thermal analysis of thin-wall structure

In order to simplify the calculation, the thermal-mechanical coupling response is solved by the sequential coupling method. An one-dimensional heat conduction model of the thermal structure is established, from which the temperature distribution in the structure obtained by using an implicit finite difference method. To calculate the stress-strain state of the structure, the temperature field is applied as the load of the structure analysis.

It is assumed that the material is always in the elastic range. Then the total stress of the structure is superimposed by mechanical stress and

thermal stress. The thermal stress caused by temperature is composed of two parts. Because the thermal deformation of the structure is constrained by external conditions, thermal stresses generated in the structure. The uneven temperature field and different materials can also cause thermal stresses.

Super-element method

The common thin-wall structure in an aircraft is the wing and fuselage. The wing is composed of skin, wing beam, wall, stringer and wing rib. And the fuselage comprises of skin, stringer as well as bulkhead. Taking transverse components as interfaces, then the thin-wall structure is divided into several segments, whereas each segment is regarded as a substructure, namely, a super-element. Among them, the spar flanges and the stringers are simulated by one-dimensional rod element, and the webs and skins are simulated by two-dimensional plate element. When the wingspan of the wing is relatively large, the cross-

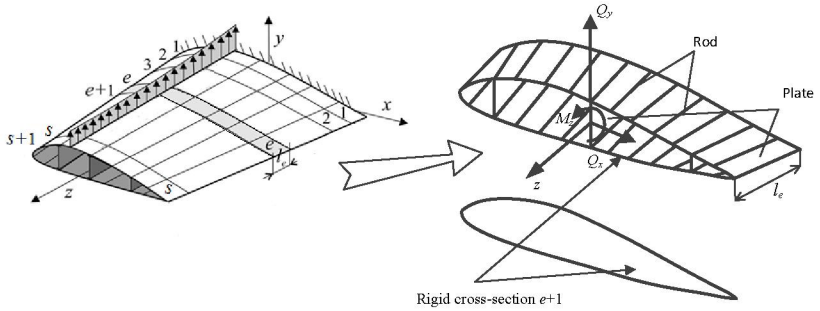


Fig. 1. Super-element model

According to the thermoelasticity and energy principle, the stiffness matrix, nodal force of rods and plates in the local coordinate system can be obtained. Then, the stiffness matrix of the general coordinate system is derived through coordinate transformation. A super-element stiffness matrix is the assemblage of the stiffness matrices of all the basic elements (rods and plates) in the super-element. Since the structure is composed of several super-elements, the individual super-element stiffness matrices and load vectors could be assembled in a suitable manner.

Numerical analysis of thermal thin-wall structure

MATLAB is utilized to write the corresponding computer program according to the theory of super-element method described above. Then several typical box structures are analyzed using the computer program. The results are compared with those obtained through the finite element method and show a good agreement.

АНАЛИЗ НДС НАГРЕТЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СУПЕРЭЛЕНТОВ

Юан Ксиао

Научные руководители: Ч.Ц.Ван, доктор наук, профессор,
А.С. Кретов, д.т.н., профессор

(Нанкинский университет аэронавтики и астронавтики, г. Нанкин,)

Для анализа нагретой силовой тонкостенной структуры предлагается метод суперэлементов. Анализируются несколько типичных тонкостенных конструкций. Результаты показывают, что данный метод имеет достаточную вычислительную эффективность и точность.

УДК 629.035.7

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ САМОЛЕТА С ДИСКОВЫМ КРЫЛОМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВОЗМУЩАЮЩИХ СИЛ

Гасилов М.С., Михайлов Т.С., Юсупов Д.М.
Научный руководитель: Павлов В.В., канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассматривается движение самолета с дисковым крылом на режимах висения и горизонтального полета, при воздействии возмущающих факторов управления.

Предлагается математическая модель описания пространственного движения трансформируемого самолета вертикального взлета и посадки, находящегося в аэродинамическом и инерционном поле, движущегося при воздействии возмущающих сил. Рассматриваются 2 режима: висения и горизонтального полета.

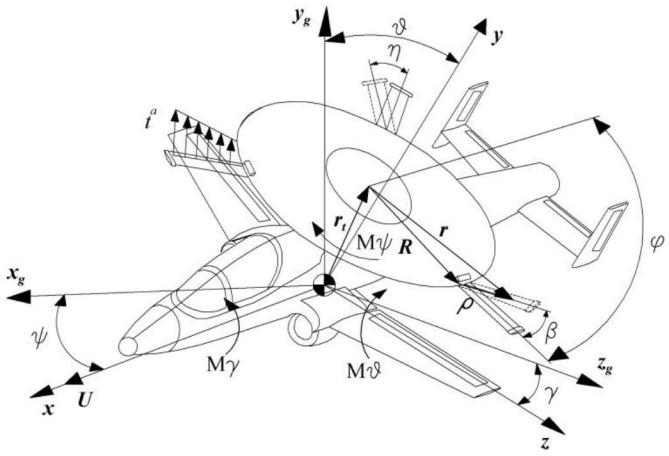


Рис. 1. Расчетная схема в пространстве

Разрешающие уравнения строятся методом Лагранжа, где обобщенными перемещениями приняты маховые углы лопасти и углы определяющие пространственное положение летательного аппарата. Скорости сечений лопасти, определяющие ее кинетическую энергию, записываются дифференцированием вектора, координирующего эти сечения во вращающихся осях. Этап расчета по предлагаемой модели несущего винта производится с лопастями, полностью выпущенными из диска-крыла с соответствующей скоростью вращения и скоростью полета (скоростью ветра).

$$\frac{d\left\{\tilde{\boldsymbol{R}}\right\}}{dt}=\begin{Bmatrix}V_x\\V_y\\V_z\end{Bmatrix}=\left[\boldsymbol{Л}_{90}\right]\left[\boldsymbol{Л}_{вр}\right]\left(\left[\boldsymbol{Л}_{св}\right]\begin{Bmatrix}\mathrm{U}_{xg}\\\mathrm{U}_{yg}\\\mathrm{U}_{zg}\end{Bmatrix}+\left[\boldsymbol{A}_0\right]\begin{Bmatrix}x_т\\y_т\\z_т\end{Bmatrix}\right)+$$

$$+\begin{Bmatrix}\dot{r}_x\\\dot{r}_y\\\dot{r}_z\end{Bmatrix}+\left[\boldsymbol{A}\right]\begin{Bmatrix}r_x\\r_y\\r_z\end{Bmatrix} \qquad (1)$$

$$\left[\boldsymbol{Л}_{св}\right]=\begin{bmatrix}\cos\vartheta\cos\psi & \sin\vartheta & -\cos\vartheta\sin\psi\\ -\sin\vartheta\cos\psi\cos\gamma+\sin\psi\sin\gamma & \cos\vartheta\cos\gamma & \cos\psi\sin\gamma+\sin\vartheta\sin\psi\cos\gamma\\ \sin\vartheta\cos\psi\sin\gamma+\sin\psi\cos\gamma & -\cos\vartheta\sin\gamma & \cos\psi\cos\gamma-\sin\vartheta\sin\psi\sin\gamma\end{bmatrix} \qquad (2)$$

В матрице (2) углы ψ,ϑ,γ – углы последовательных переходов, определяющие ориентацию дисколета в пространстве.

Полученное ранее нами решение [1] обобщается на случаи движения летательного аппарата в целом на маневре, когда он перемещается в пространстве и вращается относительно своего центра масс.

Для составления уравнений Лагранжа нам необходимо запи-

сать кинетическую энергию.

Полная кинетическая энергия системы в нашем случае будет

$$T = T_{ла} + T_{ds} + nT_b, \tag{3}$$

где n-число лопастей, $T_{ла}$ T_{ds}, T_b – кинетическая энергия летательного аппарата, дискового крыла и лопасти.

Решение задачи с использованием уравнения Лагранжа требует записи обобщенных сил.

Обобщенная сила, отнесенная к обобщенной координате, определяется зависимостью

$$Q_i = \sum_{k=1}^{N} \left(F_{kx} \frac{\partial x_k}{\partial q_i} + F_{ky} \frac{\partial y_k}{\partial q_i} + F_{kz} \frac{\partial z_k}{\partial q_i} \right), \tag{4}$$

где F_{kx}, F_{ky}, F_{kz} – проекции силы на оси координат; x, y, z – координаты точки приложения силы F_k.

Для описания движения элементов несущего винта и пространственного движения дисколета используется система уравнений Лагранжа 2-го рода

$$\frac{d}{\mathrm{d}t} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i, \tag{5}$$

где L – полная энергия системы; q_i – обобщенная координата; Q_i – обобщенная сила, отнесенная к обобщенной координате; $i = 1, 2 \ldots z$, z– число степеней свободы системы.

Возмущающая сила задается в виде момента δA элементарная работа на возможном перемещении от этого момента запишется

$$\delta A^M = M\psi \cdot \delta\psi + M\vartheta \cdot \delta\vartheta + M_\gamma \cdot \delta\gamma \tag{6}$$

Решение на основе уравнений Лагранжа заканчивается нахождением производных обобщенных перемещений в численном виде, которые записываются в виде кубических полиномов на временных участках, позволяющих совершать над ними функциональные преобразования.

По математической модели были проведены численные расчеты. В качестве входных характеристик были выбраны:

$U_{xg} = 150$ км/ч, $m_л = 20$ кг, $l = 2.75$ м, $l_c = 1.85$ м,

$J_0^{by} = 12\ кг \cdot м^2$, $J_0^{bx} = 6\ кг \cdot м^2$, $R = 3$ м, J_0^{ds}=150 $кг \cdot м^2$, $\omega_y = 20$ рад/с, $x_T = 0.5$ м, $y_T = 2.1$ м, $m_{ла} = 3000$ кг, $J_{ла}^{x} = 2800$, $J_{ла}^{y} = 9000$, $J_{ла}^{z} = 10000$.

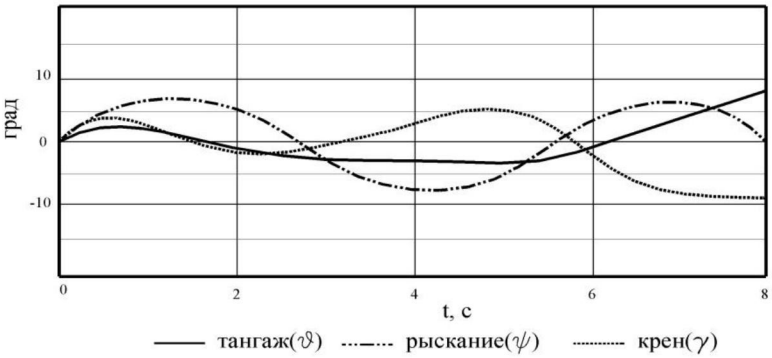


Рис. 2. Изменение угла крена, рыскания и тангажа при висении

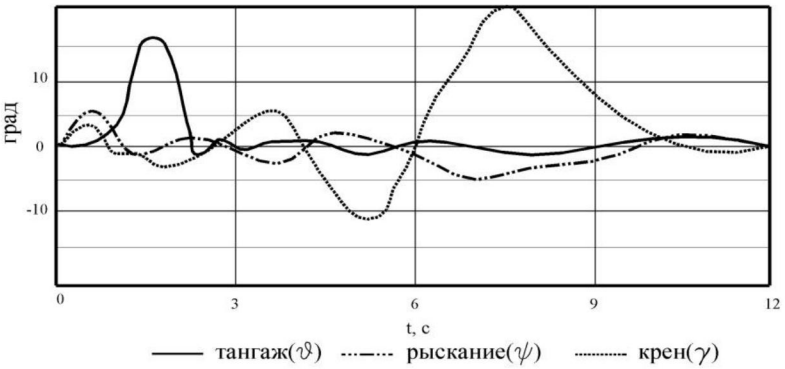


Рис. 3. Изменение угла крена, рыскания и тангажа
при горизонтальном полете

Проведенное исследование показало, что изменение углов тангажа, рыскания и крена на режимах висения и горизонтального полета имеют колебательный характер (рисунок 2-3). Причем изменение тангажа и крена представляет собой незатухающее коле-

бательное движение с нарастающей амплитудой. Угол рыскания в данном случае имеет постоянную амплитуда колебания.

В режиме горизонтального полета, с увеличением скорости полета неустойчивость движения уменьшается (рисунок 3). Изменение углов представляет колебательный процесс с уменьшением амплитуды колебаний в конце режима. Также можно заметить взаимное влияние движений по крену и тангажу (движение в противофазе), которое становится более выражено с увеличением скорости полета.

На основе результатов можно сделать вывод, что летательный аппарат на режиме висения имеет статическую устойчивость только по рысканию, а на режиме горизонтального полета обладает динамической устойчивостью в трех направлениях вращения.

Список литературы

1. Павлов В.В., Гасилов М.С. Механика преобразования дискового крыла в несущий винт // Авиационная техника № 2, 2016, С. 7–12.

SPATIAL MOVEMENT OF THE AIRPLANE WITH DISC WING WITH THE INFLUENCE OF PERTURBING FORCES

Gasilov M., Michailov T., Yusupov D.
Research advisor: V. Pavlov, c.t.s.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The motion of an airplane with a disk wing on the hovering and horizontal flight modes, under the influence of perturbing control factors, is considered.

УДК 629.735.45

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ЛОПАСТЬ НВ ВЕРТОЛЕТА – УПРУГАЯ БАЛКА ТОРСИОННОГО ТИПА

Даутов Ф.М.[1], Усольцев А.А.[2]
Научный руководитель: Д.В. Неделько[1], д.т.н.
(1-Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань,
2-ПАО «Казанский вертолетный завод», г. Казань)

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования частотных характеристик элементов несущей системы лёгкого многоцелевого вертолета в двух вариантах исполнения. Анализ данных результатов позволит выбрать оптимальное сочетание элементов, которое снизит уровень вибраций на вертолете.

Экспериментальное исследование частотных характеристик элементов несущей системы лёгкого многоцелевого вертолета проводилось в ИЛ ПНК ЛА КНИТУ-КАИ Денисовым Ю.А. Для проведения испытаний было изготовлено два варианта сочетаний лопасть несущего винта с упругой балкой торсионного типа в двух вариантах исполнения. Один вариант исполнения представлял собой серийную конструкцию. Главное отличие во втором варианте исполнения – пониженные жесткостные характеристики в плоскости вращения упругой балки.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема частотных испытаний. На вертикально подвешенную систему: «втулка НВ + лопасть» в определенной точке воздействует синусоидальная сила. По длине лопасти установлены 10 датчиков виброускорений (А61, А62…А70). С шагом 0,5 Гц в диапазоне от 0 до 50 Гц снимается амплитудно-частотная характеристика – динамический отклик всех датчиков, установленных на лопасти.

Итоговые результаты замеров амплитудно-частотных характеристик приведены на рисунках 2 и 3.

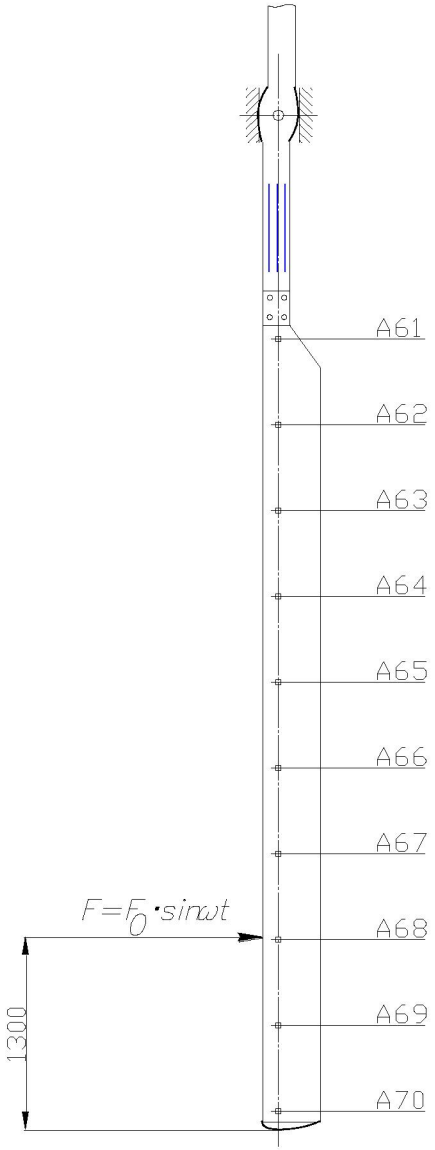


Рис. 1. Принципиальная схема частотных испытаний

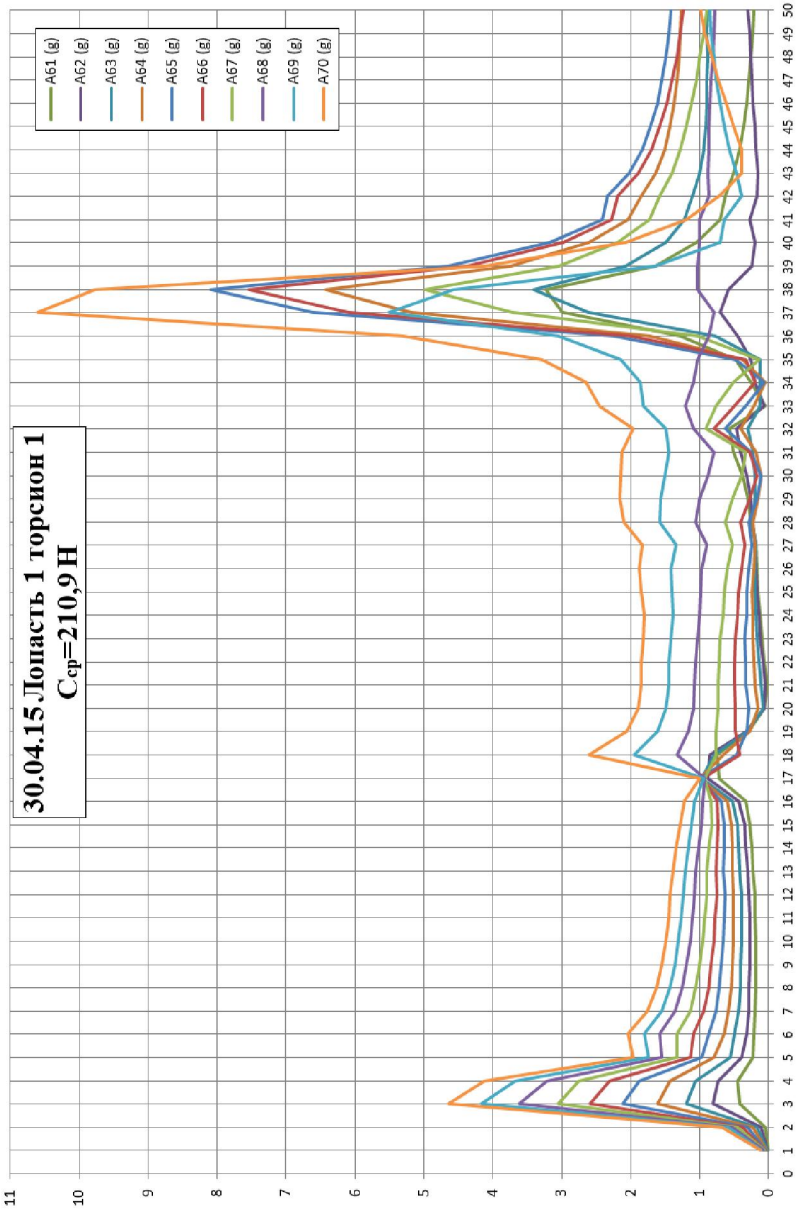


Рис. 2. Результаты замеров АЧХ первого варианта исполнения

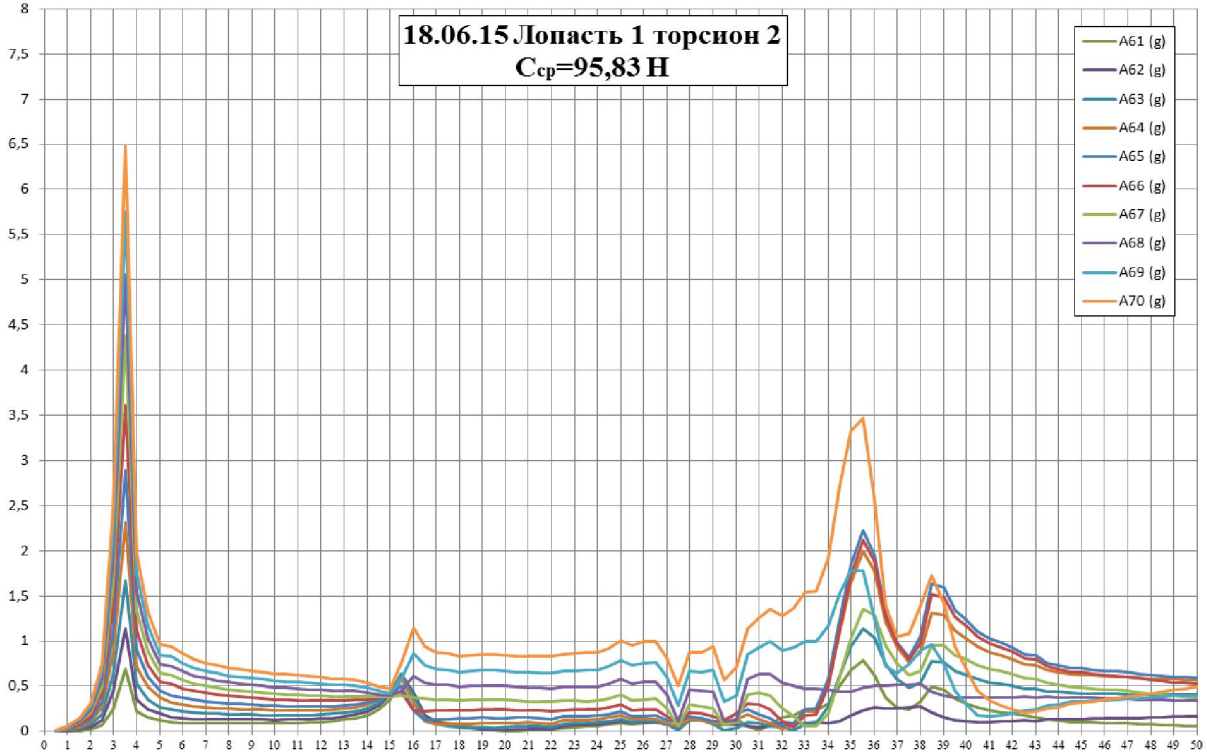


Рис. 3. Результаты замеров АЧХ второго варианта исполнения
с пониженными жесткостными характеристиками

Анализ результатов показал, что с точки зрения вибраций проблемным является 2-ой тон колебаний лопасти НВ в плоскости вращения (на рабочих оборотах НВ 365 об/мин частота собственных колебаний по 2-ому тону близка к 4-й (проходной) гармонике оборотов 24,3 Гц), поэтому выбор оптимального сочетания лопасть + упругая балка будет основан на значениях резонансных частот по 2-ому тону. Тона колебаний лопасти определяются в рамках построения резонансной диаграммы лопасти по известной схеме – см., например, [1].

По результатам анализа выполненных исследований следует, что наибольшее влияние на частоту собственных колебаний по 2-ому тону в плоскости вращения оказывает установка упругой балки торсионного типа пониженной жесткости, частота собственных колебаний не вращающейся лопасти на 2 Гц меньше, чем в первом варианте исполнения. Эта разница может привести к снижению отношения собственной частоты колебаний по 2-ому тону к частоте вращения несущего винта на рабочих оборотах от величины f/n = 4,06…3,95 до значения f/n = 3,57.

Список литературы

1. Михеев Р.А. Прочность вертолетов: Учебник для авиационных специальностей втузов. – М.: Машиностроение. 1984. 280 с.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF FREQUENCY CHARACTERISTICS MAIN ROTOR BLADE – TORSION TYPE ELASTIC BEAM SYSTEM

Dautov F.[1], Usoltsev A.[2]
Supervisors: D. Nedel'ko[1], TcD
(1-Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan, 2-JSC «Kazan helicopter plant», Kazan)

This paper presents an overview of the experimental research of frequency characteristics of two versions light multi-purpose helicopter rotor sys-

tem. Analysis of these results will allow choosing the optimal combination of rotor system elements with the added benefit of reduced vibrations level.

УДК 629.7.021.2

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ С ПЕРФОРИРОВАННЫМИ СТЕНКАМИ ПРИ СОВМЕСТНОМ КРУЧЕНИИ И ИЗГИБЕ

Ковальчук В.К.
Научный руководитель: Ю.М. Хищенко, к.т.н., доцент
(Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск)

В работе реализован конечно-элементный анализ (SolidWorks Simulation) напряженно-деформированного состояния тонкостенной консольной балки с круглыми отверстиями в перфорированных стенках, выполненной из углеродистой стали 45.

В практике транспортного машиностроения, в железнодорожном и автомобильном мостостроении часто возникает необходимость расчета тонкостенных стержней с отверстиями различных конфигураций в перфорированных стенках при сложном комбинированном нагружении. Выбор балки тонкостенного замкнутого профиля связан с тем, что наибольшие нормальные напряжения возникают в стенках на удалении от центра тяжести поперечного сечения, поэтому в этом месте и необходимо сосредоточить основное количество материала конструкции. По технологическим и конструктивным соображениям при ограничении на массу конструкции предусматривают круглые отверстия, которые приводят к повышению жесткости при работе на изгиб и кручение [1].

Из курса механики деформируемого твердого тела известно, что значения жесткостей при изгибе и кручении определяются по следующим формулам [2]:

$$C_x = EI_x,$$
$$C_k = GI_k,$$

где E – модуль Юнга, G –модуль сдвига, I_x и I_k – осевой момент инерции и момент инерции при кручении поперечных сечений. Подобная форма (при постоянной длине и массе) позволяет при увеличении размеров конструкции повысить значения геометрических характери-

стик поперечных сечений, которые сказываются при расчете на прочность и жесткость.

Подтверждением теории стал расчет трехмерной компьютерной модели тонкостенной консольной балки с круглыми отверстиями, которая нагружена поверхностной нагрузкой $q = 30$ кН/м^2 и погонным крутящим моментом $m = 20$ кН/м. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния проведено в конечно-элементном программном комплексе SolidWorks Simulation (Рис. 1).

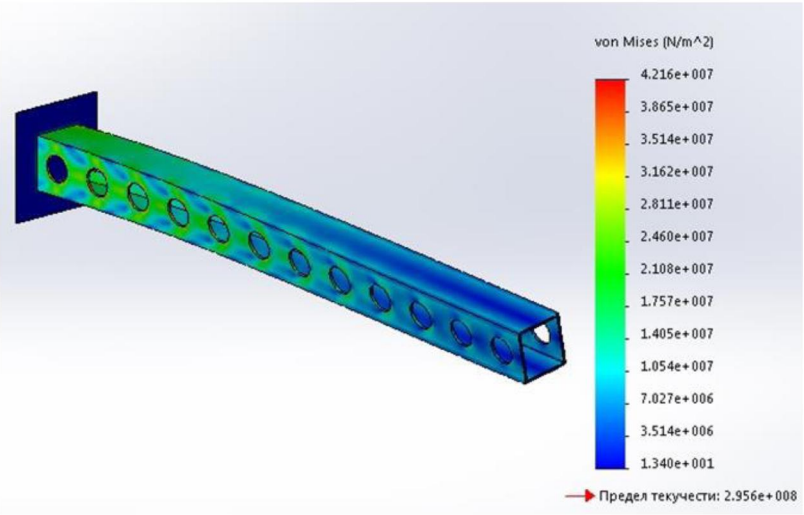


Рис.1. Карта распределения эквивалентных напряжений по Мизесу в элементах консольной балки с круглыми отверстиями.

Статический расчет показывает, что перфорация стенок вносит особенности в картину распределения внутренних усилий - максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу (σ_{max}= 42,16 МПа) возрастают с уменьшением номера окна и сосредоточены на вертикальных ребрах жесткости в стенках (Рис. 2), которые сдерживают натиск образования раскола металла, а наибольшие перемещения (Δ_{max}= 6,6 мм) возникают на свободном конце стержня.

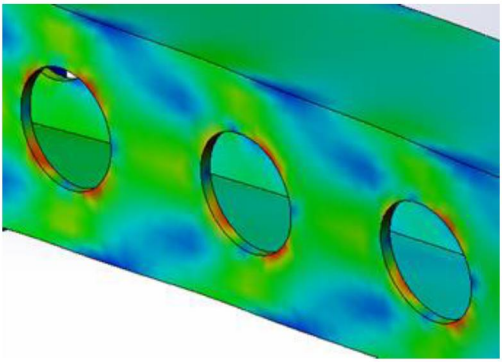


Рис. 2. Область концентрации напряжений на вертикальных ребрах жесткости

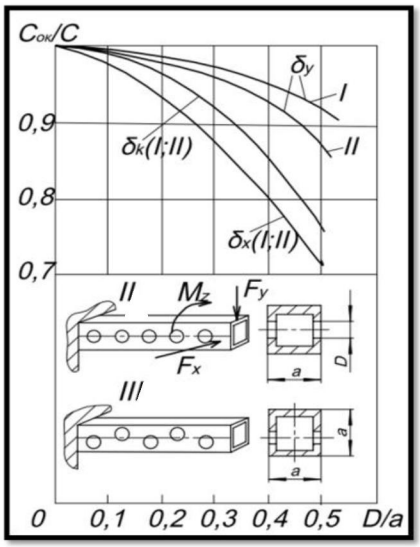


Рис. 3. График зависимости изгибной и крутильной относительных деформаций конструкций с одинаковыми габаритными размерами от размера диаметра отверстия

Однако в инженерной практике наиболее часто находят применение консольные балки с отверстиями одинаковых габаритных размеров. Установлено, что при увеличении диаметра отверстия жесткость

при кручении и изгибе снижается [1], поэтому необходимо исключить использования таких вариантов конструкций, а при размерах больших половины высоты стенки сечения, как видно из графика (Рис. 3), жесткость существенно падает, а напряжения достигают предела текучести сечения, причем оказывается, что места концентрации напряжений по высоте стенки сказываются только на вертикальных перемещениях балки.

В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1.Необходимо располагать окна на центральной линии.

2.Диаметр отверстия не должен превышать половины наибольшего размера стенки сечения.

3.Подобная форма в целях экономии материала обеспечивает безопасность и надежность работы конструкции в эксплуатации.

Таким образом, при распределении напряжений в поперечном сечении материал в середине стержня практически можно исключить, что дает выгодный эффект по затратам ресурсов при заданных параметрах нагрузки.

Полученные результаты станут основой для сравнительного анализа подобного варианта конструкций, изготовленных из композиционных материалов, применение которых становится очень перспективным в авиа- и судостроении.

Список литературы

1. Бушуев В.В. Практика конструирования машин. М.: Машиностроение, 2006. – с 258.

2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. // Уч. пособие для вузов. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999.

ANALYSIS OF INTENSE DEFORMED CONDITION OF THIN-WALLED CORES WITH PUNCHED WALLS AT JOINT TORSION AND BEND

Kovalchuk V.

Supervisor: Y. Khishchenko, candidate of technical sciences, docent

(South Ural State University, Chelyabinsk)

In work realized finite-element analysis (SolidWorks Simulation) of stress-strained state of thin-walled cantilever beam with circular openings in walls, made from carbon steel 45.

УДК 629.735.45

К ВОПРОСУ О НОРМИРОВАНИИ НАГРУЗОК НА ПОЛОЗКОВОЕ ШАССИ ЛЕГКОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО ВЕРТОЛЕТА

Коротков Л.В.
Научный руководитель: В.А. Лигай, профессор,
Д.В. Неделько, д.т.н, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

С использованием методических разработок ФГУП «ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского» изложен вероятностный принцип определения коэффициента безопасности полозкового шасси. Выполнен анализ экспериментальных данных стендовых и летных испытаний для расчета фактической величины коэффициента безопасности применительно к полозковому шасси легкого многоцелевого вертолета.

Как показано в работе [1], классическое определение коэффициента безопасности для любого летательного аппарат основано на вероятностном подходе и предполагает наличие вероятностного рассеяния обобщенного параметра внешнего нагружения летательного аппарата Mе в эксплуатации и вероятностного рассеяния несущей способности эксплуатируемых конструкций Mр

Коэффициент безопасности равен отношению этих двух математических ожиданий [1]:

$$f = \bar{M}_{\text{р}} \Big/ \bar{M}_{\text{е}} \qquad (1)$$

При этом величина коэффициента безопасности определяется исходя из заданной вероятности разрушения конструкции в эксплуатации, то есть вероятности события, при котором разница величин $\bar{M}_{\text{р}}$ и $\bar{M}_{\text{е}}$ будет меньше или равна нулю: $P_{\text{разр}}\left[(\bar{M}_{\text{р}} - \bar{M}_{\text{е}}) \le 0\right]$.

Используя методику, изложенную в работе [1] и производя некоторые преобразования получаем:

$$P_{\text{разр}}(f,\gamma_e,\gamma_p)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} \int_{-\infty}^{\frac{u\,\gamma_e+1-f}{f\,\gamma_p}} e^{-\frac{t^2}{2}}\,dtdu. \qquad (2)$$

Как видно из (2), вероятность разрушения $P_{\text{разр}}$ является функцией, зависящей от коэффициента безопасности f и коэффициентов вариации γ_e, γ_p.

Анализу подвергнута конструкция трубчатого полозкового шасси, ранее рассмотренная в работах [2]. В качестве критерия несущей способности этой конструкции были выбраны разрушающие деформации.

Для определения функции распределения фактических разрушающих деформаций были вырезаны 36 образцов из фрагментов рессор полозкового шасси в состоянии, соответствующем штатной термообработки. Была принята гипотеза о соответствии распределения разрушающих деформаций нормальному закону.

Для проверки гипотезы соответствия закона распределения разрушающих деформаций нормальному закону была использована методика, приведенная в работе [3]. Проверка проводилась по двум критериям. Уровень значимости q был ограничен диапазоном $q \in [0{,}02;\ 0{,}1]$.

Непротиворечивость гипотезы нормальности закона распределения разрушающих деформаций испытанных образцов экспериментальным данным подтверждена по обоим критериям.

Авторами обработаны экспериментальные данные по шести натурным авторотационным посадкам. Анализировались вертикальная скорость Vy в момент соударения с землей и максимальные деформации $\varepsilon_{\text{пос}}$ в рессорах полозкового шасси по измерительным данным объективного контроля. Данные по измеренным деформациям и вертикальным скоростям приведены в таблице 1.

Поскольку достоверная оценка фактического закона распределения случайной величины $\varepsilon_{\text{пос}}$ не представляется возможной из-за значительной малости объема статистической выборки, то для

дальнейших рассуждений принимаем, что указанная случайная величина єпос подчиняется нормальному закону распределения.

Таблица 1

V, м/с	0,9	0,7	1,7	1,3	1,44	1,45
ε,%	0,41	0,45	0,50	0,50	0,49	0,51

По фактическим параметрам нормальных распределений выполнен расчет коэффициентов вариации γ_ε и. γ_p . Данные по указанным коэффициентам вариации приведены в таблице 2.

Таблица 2

Коэффициент вариации	γ_e ($\varepsilon_{пос}$)	γ_p ($\varepsilon_{разр}$)
	0,080	0,103

По формуле (2) выполнен расчет зависимости вероятности разрушения *P*разр конструкции полозкового шасси от значения коэффициента безопасности f при заданных величинах коэффициентов вариации γ_ε и γ_p из таблицы 2. Результаты расчета приведены на графике рисунка 1.

В работе [1] указано, что для летательных аппаратов в качестве допустимого уровня риска разрушения по условиям статической прочности принимается величина вероятности Рразр = 0,001 на срок службы летательных аппаратов.

По графику рисунка 1 видно, что вероятности разрушения *P*разр = 0,001 соответствует значение коэффициента безопасности f = 1,5…1,55. Таким образом, в пределах точности выполненных статистических расчетов можно утверждать, что конструкция полозкового типа шасси вертолета соответствует общим нормативным требованиям статической прочности, предусмотренным как системой требований АП-29, так и НЛГВ-2 в части применения коэффициента безопасности f = 1,5.

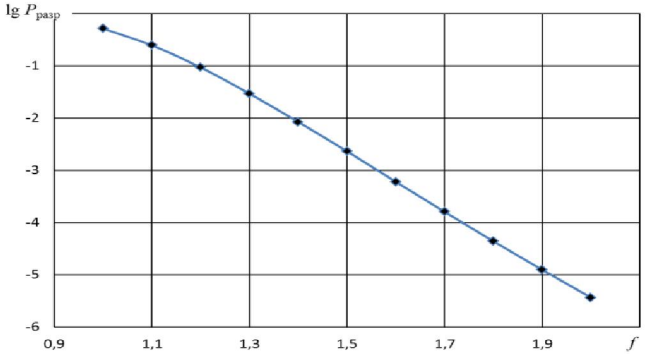


Рис. 1. Результаты расчета вероятности разрушения

Список литературы

1. Дмитриев В.Г., Чижов В.М. Основы прочности и проектирования силовой конструкции летательных аппаратов. М.: 2005. 416 с.

2. Михайлов С.А., Коротков Л.В., Неделько Д.В. Анализ результатов расчета статического нагружения трубчатого полозкового шасси вертолета // Изв. вузов. Авиационная техника. 2012. № 4. С. 15 – 18.

3. Рабинович С.Г. Погрешности измерений. Л.: Энергия. 1978. 262 с.

ABOUT A PROBLEM OF REGULATION OF LOADS ON A SKID GEAR OF LIGHT MULTIPURPOSE HELICOPTER

Korotkov L.
Supervisor: V. Ligai, professor,
D. Nedel'ko, Doctor of technical Sciences, assistant professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Probabilistic principle of determining the safety factor of the skid landing gear is presented using methodological developments of Central AeroHydrodynamic Institute named after professor N.E. Zhukovsky (TsAGI). The

analysis of the experimental data of bench and flight tests is performed for the purpose of calculation of the actual value of safety factor of skid landing gear of the light multipurpose helicopter.

УДК 629.7.015.4:539.4

УТОЧНЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЛОПАСТИ ВЕРТОЛЕТА АНСАТ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧАСТОТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Кузнецов М.Е., Носов Д.А.
Научный руководитель: В.А. Костин, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В работе рассматривается задача уточнения жесткости лопасти вертолета АНСАТ по результатам динамических испытаний после внесения конструктивных изменений. Для решения задачи была принята балочная расчетная модель. По результатам измеренных в эксперименте деформаций были уточнены коэффициенты уравнений изгибных колебаний лопасти.

Фактическая прочность конструкций любого ЛА проверяется с помощью испытаний на прочность. Необходимость проведений таких испытаний связано с тем, что при расчетах на прочность сложных авиационных конструкций, состоящих из большого числа различных силовых элементов, работающих в специфических условиях неизбежно приходится вводить упрощающие предположения, схематизировать работу элементов и агрегатов конструкций. Все это может быть источником погрешности расчетов на прочность.

При проектировании вертолета конструктора закладывают изменение жесткости, но чисто аналитически. В ИЛ ПНК ЛА были проведены испытания изгибной жесткости лопасти вертолета АНСАТ. Данная работа показывает, как можно применить метод интегрирующих матриц, с помощью которого можно сразу получить по измеренным деформациям распределение изгибной жесткости по длине лопасти.

Выбор балочной расчетной модели является упрощением задачи, требующем доказательств адэкватности расчетной схемы и натуры. Решение задачи идентификация динамических параметров, таких как массовые и жесткостные характеристики, показывают,

что упрощенная модель с уточненными значениями коэфициентов уравнений может в ряде случаев лучше отражать реально происходящие процессы, чем более сложная модель, но с обилием приближенных коэфициентов уравнений.

С другой стороны, балочная модель расчета на прочность и колебания позволяют создать алгоритм «оперативного», быстрого счета, без которого методы автоматичского управления испытаниями теряют смысл. Далее следуя [1] имеем:

Известное уравнение изгибных колебаний балки имеет вид:

$$(EJ = J\,\check{y}'')'' + m\tilde{y} = T(x,t), \quad (1)$$

Здесь EJ – изгибная жесткость балки; m – погонная масса; T(x,t) – поперченая нагрузка, меняющаяся по времени; $\tilde{y}$ – перемещение оси стержня, меняющееся во времени для каждой точки и переменное по длине балки.

В случае установившегося процесса колебаний нагрузка меняется по гармпоническому закону:

$$T(x,t) = q(x)\sin\omega t \quad (2)$$

где q(x) - аплитуды гарузки; ω – частота приложения нагрузки.

Решение уравнения (1) ищем в виде:

$$\tilde{y} = y(x)sin\omega t. \quad (3)$$

Подстановка (2) и (3) в уравнение (1) приводит его к виду:

$$(EJy'') - \omega^2 my = q \quad (4)$$

Для контсрукции с поперечным сечением произвольной формы необходимо получить численное решение уравнения (4). Для жесткого защемления реализуемые на закрепленном конце при x=0 кравевые условия будут:

$$y(0) = y'(0) = 0, \quad (5)$$

На свободном конце при x=l:

$$(EJy'')_{x=l} = (EJy'')_{x=l} = 0 \quad (6)$$

Условия (6) выражают равенство нулю изгибающего момента и перерезывающей силы.

Для решения задачи методом интегрирующих матриц предварительно уравнгение (4) интегрируется дважды с учетом краевых условий (5), (6) с тем, чтобы старшей производной стала та, которая определяет внутренние усилия и напряжения. Для балки это

y'', так как по ней можно найти изгибающих момент $M = EJy''$ и нормальные напряжения.

В данной краевой задаче будем интегрировать от свободного конца x=l, так как при этом получается наиболее простой вид уравнения:

$$EJy'' - \omega^2 \int_x^l dx \int_x^l mydx = M, \qquad (7)$$

Где M – известный изгибающий момент от поперечной нагрузки. Рассматриваемом случае будем полагать, что распределенная нагрузка отсутствует, q=0.

Для численного решения интегро-дифференциального уравнения (7) запишем его в выбранных сечениях (8):

$$EJy'' - \omega^2 \int_x^l dx \int_x^l m_{x_i} dx \int_0^{x_i} dx \int_0^{x_i} y''_i dx = -P(l - x_i), (i = 1, n),$$

при этом мы учли, что

$$y = \int_0^x dx \int_0^x y'' dx.$$

Система (8) в матричной форме с использованием интегрирующих матриц имеет вид:

$$[A]\{y''\} = \{M\}, \qquad (9)$$

Где $\{y''\}$, $\{M\}$ - столбцы порядка n значений соотвествующих величин в расчетных сечениях;

$$[A] = [EJ] - \omega^2 [J_2]^2 [m] [J_1]^2;$$

$[EJ]$- диагональная матрица значений жесткостей EJ в расчетных сечениях;

$[J_1]$ - интегрирующая матрица первого рода, численный аналог интеграла от 0 до x_i; $[J_2]$ – интегрирующая матрица второго рода, численный аналог интеграла от x_i до l.

Решение уравнения (9) дает $\{y''\}$ для балки с переменными по длине параметрами.

Теперь перейдем к рассмотрению обратной задачи, то есть будем определять EJ по известным из эксперимента $\{y''\}$. Для этого уравнение (9) запишем немного по-другому:

$$([EJ] - \omega^2 [J_2]^2 [m] [J_1]^2)\{y''\} = \{M\}. \qquad (10)$$

Затем проведем некоторые преобразования для того, чтобы из системы (10) выразить искомую величину EJ. Раскрывая скобки и перенося в правую часть известные величины, получим:

$$([EJ]\{y''\} = \{M\} + \omega^2[J_2]^2\,[m]\,[J_1]^2)\{y''\}.$$

Эта же записимость в более компактной форме при обозначении правой части через $\{B\}$ примет вид:

$$[EJ]\{y''\} = \{B\}.$$

Теперь представим изветсную величину $\{y''\}$ в форме диагональной матрицы, а неизвестную EJ как обычно в виде столбца:

$$[y'']\{EJ\} = \{B\}. \qquad (11)$$

При помощи записи (11) можно проводить идентификацию EJ по известным экспериментальным данным. Так как в решении используется интегральный метод его зависимость от погрешностей, неизбежных в ходе реального эксперимента, ниже, чем при численном дифференцировании. Приведем примеры идентификации изгибной жесткости балки постоянного сечения, переменного и ступенчатого. Погрешность должна моделировать результат эксперимента.

Можно заключить, что предложенный метод вполне устойчив к погрешностям. Данный метод интегрирующих матриц оказывается менее чувствителен к качеству задания исходной информации и не требует дополнительной процедуры сглаживания.

Список литературы

1. В.А. Костин, М.Ю. Торопов, А.П. Снегуренко. Обратные задачи прочности летательных аппаратов // Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2002. 284 с.

CLARIFICATION OF THE RIGIDITY OF THE BLADES OF THE HELICOPTER ANSAT ON THE RESULTS OF THE FREQUENCY TESTS

Kuznetsov M., Nosov D.
Supervisor: V. Kostin, doctor of technical Sciences, Professor PC
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

This paper considers the problem of specification of the stiffness of the helicopter ANSAT after making design changes on the results of the dynamic tests. To solve the problem was adopted beam analysis model. According to the results measured in the experiment strains were adjusted values of coefficients of equations of Flexural vibrations of the blades.

УДК 629.035.7

ДИСКОЛЕТ КАК НОВЫЙ ВИД ГОРОДСКОГО И МЕЖДУГОРОДНЕГО ТРАНСПОРТА

Михайлов Т.С.
Научный руководитель: В.В. Павлов, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Предложена модель летательного аппарата с дисковым крылом, как воздушного транспорта будущего, для решения проблем транспортной системы.

Большинство городов в настоящее время сильно перегружены. Автомобилисты и пассажиры сталкиваются с пробками на дорогах, которые становятся все более серьезными. Практически любой бизнес испытывает потребность в перевозке тех или иных материальных ценностей на различные расстояния, поэтому рынок грузоперевозок всегда будет существовать, при этом чрезвычайно завися от иных отраслей экономики. Заторы являются большой проблемой для экономики. Расходы по ним включают непредсказуемое время в пути, экологический ущерб, материальный ущерб, задержки и производственные потери.

В настоящее время существует большое число вариантов организации доставки груза и людей. Это и железнодорожные перевозки почтово-багажными вагонами, специальным грузовым подвижным составом, контейнерные перевозки, и морские перевозки, а также внутренние водные перевозки, и доставка груза воздушным транспортом.

Методы решения проблем с пробками, которые применяются в Европе и странах Запада кардинально не решают данную проблему, либо имеют слабый эффект, в совокупности с дорогостоящим применением некоторых из них.

Реальный выход, который мы считаем эффективным, в освоении воздушного пространства города с его многоуровневостью целых «улиц». Здесь уровней может быть не один десяток. Для этого могут по-

дойти вертолеты, но вертолеты имеют малую скорость (250 км/ч), грузоподъемность на порядок меньше самолетной (25т.), в 5÷6 раз больший, чем у самолета, расход топлива, заложенные в самой идее вертолета вибрации и шум «хлопающих» лопастей. Это ведет к ограниченности использования данного вида транспорта.

Для борьбы с заторами на основе использования мирового опыта, предложен летательный аппарат, выполненный на основе патента «Крыло самолета Павловых». Это самолет с вертикальным взлетом и посадкой (СВВП), свободный от недостатков описанных выше, и присущих вертолету.

СВВП взлетает на несущем винте вертолетного типа, затем убирает лопасти во вращающееся дисковое крыло, на котором совершает горизонтальный полет. Такой аппарат можно назвать «Дисколетом».

На основании построенной математической модели и проведенных лабораторных испытаний было определено, что данный вид воздушного транспорта может летать с самолетной скоростью (до 950 км/ч), которая при соответствующем исполнении самолета и при необходимости дальних междугородних перелетов может быть и сверхзвуковой. Дозвуковой полет на вращающемся дисковом крыле не создает больших шумов, имеет высокий уровень комфорта, а вертолетный режим взлета и посадки менее комфортный, но небольшой по времени. Возможности большой грузоподъемности СВВП позволят создать новые технологии строительства и грузоперевозок.

Городской воздушный транспорт уже сейчас используется спецучереждениями и владельцами личных вертолетов для преодоления городских транспортных пробок.

Особенность предложенного нами аппарата в том, что он может быть одновременно и городским и междугородным транспортом, имея большую скорость полета. Это освободит некоторые города от необходимости строить аэропорты, расположенные как правило далеко от города и добавляющие немало проблем городскому хозяйству. «Дисколет» может эксплуатироваться в черте города на отдельных небольших площадках, типа автохозяйств, создавая удобство и для пассажиров междугородних линий.

Рис. 1. Модель дисколета

Для нового воздушного транспорта в КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева предложена и запатентована идея принципиально нового крыла самолета, получившего название «Крыло самолета Павловых». Это крыло в виде вращающегося осесимметричного диска, из которого на взлете и посадке выдвигаются лопасти вертолетного типа, превращая крыло в несущий винт, позволяющий самолету висеть в воздухе и перемещаться по вертикали.

Такой несущий винт всепогоден, лопасти его на стоянке и в крейсерском полете убраны в крыло, а выдвигаются из него имея центробежные силы вращения, которые растягивают лопасти и делают их очень жесткими, способными противостоять любым ветровым воздействиям, которые наблюдаются у вертолетов в начале вращения перед полетом и при остановке его после полета. Дисковое крыло может быть использовано вместо традиционного крыла, практически в любых типах самолетов, превращая их в самолеты вертикального взлета и посадки (СВВП).

Наименьшую трудность в конструкторской разработке и технологическом обеспечении опытного и серийного производства при одновременной достаточно высокой вероятности коммерческого успеха представляет «Дисколет» на 8 мест (2 члена экипажа + 6 пассажиров) взлетным весом 3 тонны, с диаметром диска-крыла 6 метров и диаметром несущего винта 11 метров. Проектная скорость полета 750 км/час, дальность полета до 1700 км.

Базовая конструкция «Дисколета» допускает модификации для решения широкого спектра задач. Поэтому в качестве потенциального рынка сбыта новых машин можно рассматривать весь рынок услуг легкой авиации, имеющий перспективы значительного роста. В административном и бизнес-варианте новая машина будет обладать комфортностью легких самолетов аналогичной грузоподъемности, а с учетом возможности внутригородского базирования (например, на крышах административных и деловых центров) обеспечит значительную экономию времени в пути.

Независимость от транспортных пробок, уровень шума и расход топлива на единицу целевой отдачи в 2 раза меньший, чем у вертолета, позволяют отнести «Дисколет» к городскому виду транспорта даже по жестким экологическим критериям, установленным в мегаполисах, что позволит разгрузить транспортную систему города, и кардинальным образом исправить ситуацию с пробками на дорогах города.

Список литературы

1. Исследование агентства Deloitte "Борьба с пробками на дорогах: как использование платных дорог может снизить уровень транспортной загруженности"

2. Дисколет - новые технологии полета. https://discolet.wordpress.com/

DISCOLET AS A NEW KIND OF URBAN AND INTERCITY TRANSPORT

Michailov T.
Research advisor: V. Pavlov, c.t.s.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

A model of an aircraft with a disk wing, as an air transport of the future, is proposed to solve the problems of the transport system.

УДК 629.7.01

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СИСТЕМЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

Михайлюк В.В., Желателева П.А., Губяев М.И.
Научный руководитель: В. П. Махитько,
доктор технических наук, профессор
(Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева, г. Ульяновск)

Рассмотрены эксплуатационные перегрузки и эксплуатационные нагрузки, влияющие на летальные аппараты. Проанализированы показатели, определяющие прочность летательных аппаратов.

Все случаи нагружения самолета, вероятные в эксплуатации и наиболее опасные для прочности его частей, рассчитаны в нормах прочности самолетов. Эти случаи выбраны на основании летных испытаний, лабораторных и теоретических исследований, опыта эксплуатации самолетов. Цель данной статьи – анализ показателей, определяющих прочность летательных аппаратов, что имеет большое значение для безопасности полета.

Определение нагрузок в различных случаях производится с учетом назначения самолета, его полетного веса, максимальной скорости полета и других факторов. Нормы прочности для военных и для гражданских самолетов отличаются из-за различий в технических требованиях и условиях эксплуатации. Существуют нормы прочности вертолетов, планеров, и других летательных аппаратов.

Для каждого случая нагружения нормами прочности задается эксплуатационная перегрузка ($n^э$) или эксплуатационная нагрузка [5, с. 46]. В большинстве случаев нормы прочности рассматривают перегрузку в направлении подъемной силы. Иногда нормы прочности дают значения эксплуатационной нагрузки на части конструкции самолета $P^э$ – наибольшей нагрузки, вероятной в эксплуатации. В качестве основных показателей уровня требований и прочности самолета при его создании задаются максимальная и

минимальная (наибольшая отрицательная) эксплуатационные перегрузки ($n^э_{max}$ и $n^э_{min}$), через них нормы прочности выражают значения $n^э$ для разных случаев нагружения.

Наряду с этим устанавливаются предельные величины скоростных характеристик летательного аппарата, вплоть до которых должна обеспечиваться прочность конструкции: $q_{\max max}$ – расчетный предельный (сверхмаксимальный) скоростной напор и $M_{\max max}$ – расчетное предельное число М. Эти предельные величины обусловлены необходимостью пойти на ограничение летных свойств, чтобы снизить вес конструкции. Ограничение q и V может быть связано с потребностью ограничить давление воздуха на обшивку или перегрузки в болтанку, с опасностью флаттера, ограничение М – с обеспечением устойчивости дозвуковых самолетов и ограничением кинетического нагрева сверхзвуковых.

При выполнении требований норм прочности и жесткости конструкции летательного аппарата необходимо обеспечить и оценить ее долговечность, надежность и живучесть. Нормы прочности рассматривают полетные и посадочные случаи нагружения [1]. Основные полетные случаи нагружения – A, A’, B, C, D, D’ (табл. 1) [4]. Для маневренных и ограниченно маневренных самолетов условия нагружения, соответствующие этим случаям норм прочности, встречаются при криволинейном маневренном полете. Для неманевренных самолетов гражданской авиации эти условия наиболее вероятны при полете в неспокойном воздухе.

Таблица 1

Основные полетные случаи нагружения

Случай нагружения	Параметры			
	$n^э$	**c_y**	**q**	**F**
A	$n^э_{max}$	$c_{y\,max}$	-	1,5
A’	$n^э_{max}$	-	$q_{max\,max}$	1,5
B	$0{,}5n^э_{max}$	-	$q_{max\,max}$	2,0
C	0	0	$q_{max\,max}$	2,0
D	$n^э_{min}$	$c_{y\,min}$	-	1,5
D’	$n^э_{min}$	-	$q_{max\,max}$	1,5

Важнейшие полетные случаи A, A', B, C, D, D' и случай посадки на три точки E являются решающими для прочности разных частей самолета. Как показано на рисунке 1, они охватывают широкий диапазон значений углов атаки, эксплуатационных перегрузок и скоростей полета самолета.

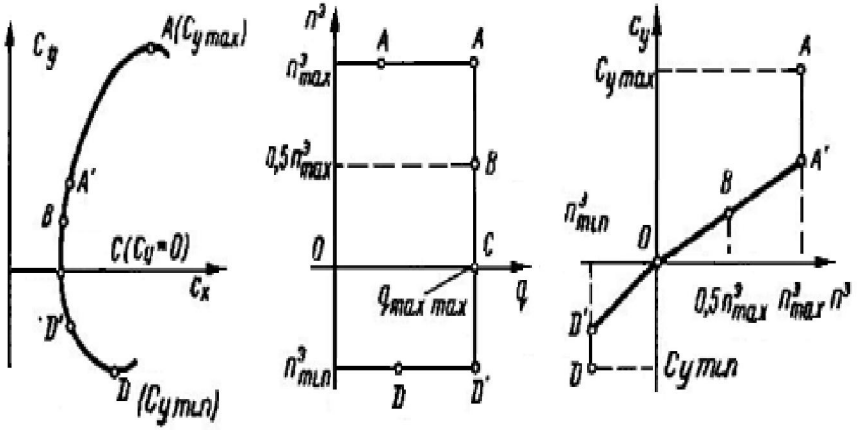


Рис. 1 Случаи нагружения норм прочности самолёта

При действии $n^э$ и $P^э$ не должно быть заметных остаточных деформаций и потери устойчивости силовых элементов конструкции.

Соответственно случаям нагружения определяются расчетная разрушающая перегрузка n^p или расчетная разрушающая нагрузка P^P на части конструкции самолета.

До достижения величин n^p и P^P конструкция не должна разрушаться.

Значения величин n^p и P^P связаны с $n^э$ и $P^э$ зависимостями:

$P^P = fP^э$, $n^p = fn^э$

где f – коэффициент безопасности.

Рассмотрим требования прочности и жесткости, которым должно удовлетворять состояние конструкции при действии P^P и $P^э$.

1) при действии $P^э$ максимальные напряжения (местные, в

наиболее нагруженных точках конструкции) не должны вызывать остаточных деформаций $\varepsilon^{p} > 0{,}2$ %; не должно быть потери устойчивости и таких деформаций конструкции, которые приводят к искажению аэродинамических форм или нарушению работы управления. Условие прочности имеет вид:

$$P^{э} < P_{доп} \text{ или} \sigma^{э} < \sigma_{доп}$$

где $\sigma^{э}$ – эксплуатационное напряжение (от действия нагрузки), по которому проверяется прочность; в отдельных случаях это может быть касательное $\tau^{э}$, или приведенное (по третьей теории прочности) напряжение $\sigma_{прив}$, $\sigma_{доп}$, $P_{доп}$ допускаемые нагрузка инапряжение.

Это допускаемые характеристики прочности конструкции, определяемые указанными выше требованиями. Допускаемое напряжение берется равным пределу текучести $\sigma_{т} = \sigma_{0,2}$(или τ_{t}), а для элементов, теряющих устойчивость, – критическому напряжению $\sigma_{к}$ (или $\tau_{к}$);

2) до достижения P^{p} не должно происходить окончательного разрушения частей конструкции; они должны сохранять способность выдерживать повышение нагрузки.

Условие прочности:

$$P^{p} < P_{разр}, \text{ или } \sigma^{p} \leq \sigma_{разр}$$

гдеσ^{p}(или τ^{p}, $\sigma^{p}_{прив}$) – расчетное напряжение (от действия P^{p});

$P_{разр}$,$\sigma_{разр}$ – характеристики прочности при разрушении конструкции: разрушающие нагрузка и напряжение; разрушающее напряжение равно $\sigma_{в}$, (или $\tau_{в}$), а для элементов, теряющихустойчивость, берется на основе испытаний, в пределах от $\sigma_{к}$ до $\sigma_{в}$ (или от $\tau_{к}$ до $\tau_{в}$).

Максимальные напряжения возникают у концентраторов, поэтому деформация $\varepsilon_{р} = 0{,}2$ % является локальной; практически можно считать, что общие деформации конструкции до этого подчиняются закону Гука.

Приведенные требования отражаются на значениях коэффициента безопасности f, принятых в нормах прочности.

В детали, размеры которой подобраны по условию прочности, напряжение от P^{p} будет $\sigma^{p} = \sigma_{в}$;

при Р^{э}оно будет равно $\sigma^{э} = \frac{\sigma_{в}}{f}$.

Для выполнения условия $\sigma^{э} < \sigma_{т}$необходимо, чтобы было $\frac{\sigma_{в}}{f} < \sigma_{т}$, или $f > \frac{\sigma_{в}}{\sigma_{т}}$.

Для современных авиационных металлов $\frac{\sigma_{в}}{\sigma_{т}} \leq 1{,}3$.

Этим обосновано наименьшее допустимое значение f = 1,3.

Для основных случаев нагружения f задается в пределах от 1,5 до 2 в зависимости от того, насколько часто случай встречается и для прочности каких частей является решающим. Предусматривается увеличение f для особо ответственных деталей, для конструктивных элементов, характеристики прочности которых имеют значительный разброс и в некоторых случаях в целях повышения жесткости частей конструкций.

В полетных случаях нормы прочности задают перегрузку $n^{э}$, а также q или c_y для определения подъемной силы крыла.

Для нахождения нагрузок на крыло и определения незаданных параметров в полетных случаях нагружения используется зависимость $Y^{э} = n^{э}\mathrm{G} = \mathrm{c_y}Sq$.

Наряду с рассмотренными случаями нагружения, имеется еще ряд случаев, которые являются решающими для прочности отдельных частей [2].

В заключении анализа показателей прочности летательных аппаратов можно отметить, что угрозы, которые характеризуются высокой вероятностью и разрушительными или критическими последствиями для исследуемой системы, необходимо отслеживать и ликвидировать в первую очередь. Наиболее разрушительны угрозы, которые наступают одномоментно и неожиданно [3, с. 198]. Нормы прочности регулярно пересматриваются и обновляются. При этом остаются значимыми параметры прочности летательных аппаратов, проанализированные в данной работе.

Список литературы

1. Авиационные правила. Часть 25. Нормы лётной годности самолётов транспортной категории М. : Межгосударственный авиационный комитет, 2009.

2. Воскобойник М. С. и др. Конструкция и прочность самолетов и вертолетов / М. С. Воскобойник, Г. С. Лагосюк, Г. С. Миленький. – М. : Транспорт, 1972. – 440 с.

3. Захарова И. В. Анализ факторов развития регионального авиационного кластера // Вестник Московского авиационного института. 2017. Т. 24. № 1. С. 192-200.

4. Нормы прочности самолётов. Основные расчётные случаи нагружения самолёта / Сост. А. И. Радченко. – Киев : Национальный авиационный университет, 2009 [Электронный ресурс] / Режим доступа : http://5fan.ru/wievjob.php?id=69161

5. Тарасов Ю. Л. Прочность конструкций самолётов. Часть 1 [Электронный ресурс]: электронное учебное пособие / Ю. Л. Тарасов; Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева. – Электрон. текстовые и граф. дан. (9,61 Мбайт). – Самара, 2012. – 1 эл. Опт. Диск (CD-ROM).

THE STRENGTH OF THE AIRCRAFT

Mykhailiuk V., Gelateieva P., Gubaev M.
Supervisor: V. Mahitko, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Ulyanovsk Institute of Civil Aviation, Ulyanovsk)

Reviewed operational overload and stress that affect lethal machines. Analyzed the parameters that determine the strength of the aircraft.

УДК 658.5.012.14

РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ КАК СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

Нестеров К.С., Альмеев Э.И.
Научный руководитель: И.Ш. Шарафеев, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной статье исследуется понятие «производственная система», особенности и трудности ее формирования. Ее формирование и развитие требуют грамотной постановки целей, тщательного планирования, выбора подходящих методов и инструментов, продуманного подхода к реализации. Производственная система является одним из главных элементов в хозяйственной деятельности любого предприятия.

Сегодня важнейшим условием развития экономики является производство конкурентоспособной продукции. Смена модели экономического развития с особой остротой поставила вопрос об адаптации системы управления оборонно-промышленным комплексом к рыночным условиям. В сложившейся ситуации встает вопрос: «Что же делать дальше производственным предприятиям?», ведь современные рыночные условия можно характеризовать как «борьбу за каждого потребителя», т.к. высокая конкуренция в таких отраслях промышленности, как авиационная промышленность и машиностроение, заставляет постоянно бороться за предпочтение потребителя, выпускать конкурентоспособную продукцию и повышать конкурентоспособность организации.

Под конкурентоспособностью предприятия (организации) понимается способность выпускать востребованную потребителями продукцию, а также обеспечивать преимущества перед другими организациями данной отрасли внутри и за пределами страны.

Конкурентоспособность – формирование явных по отношению к другим государствам преимуществ в научно-

технологической области и, как следствие, в социальной, культурной, образовательной и экономической областях [1].

Современные предприятия работают в условиях постоянно изменяющейся внешней и внутренней среды, и при отсутствии организационных изменений через некоторое время производственные процессы предприятия перестанут быть оптимальными по отношению к изменившейся среде. Соответственно предприятие станет проигрывать в конкурентной борьбе тем предприятиям, производственные процессы которых более эффективны и в соответствии с динамикой изменения среды постоянно проводят соответствующие организационные изменения. Отсюда следует очевидный вывод: эффективное организационное развитие это условие выживания компании. А для этого необходимо модернизировать, развивать и совершенствовать производственную систему предприятия (организация производственных и управленческих процессов на уровне рабочего места, участка, цеха, предприятия в целом) с целью удовлетворения потребностей потенциальных потребителей. Многие предприятия уже обратились и обращаются к опыту мировых лидеров, применяя лучшие практики использования принципов, методов, инструментов производственной системы Toyota Production System.

В настоящее время многие известные предприятия застолбили понятие «производственная система» и активно занимаются реализацией мероприятий направленных на повышение эффективности и совершенствование своей производственной системы. Рассматривая практику внедрения современных подходов по формированию производственных систем на предприятиях, наблюдаем множество определений данного термина, присутствующих в стратегических и нормативно-правовых документах организаций.

Среди производственных систем наиболее прогрессивной считается Toyota Production System (TPS). Производственная система Тойота (TPS) – это система, направленная на обеспечение максимального качества, минимизации затрат и времени выполнения заказа путем устранения потерь. TPS не жёсткий набор утверждённых компанией процедур, а набор принципов, подтверждённых ежедневной практикой применения в течение многих лет.

Производственная система Тойоты это скорее образ мышления и действий при выполнении производственных задач [2].

Производственная система Росатома (ПСР) определяется следующим образом: «ПСР–методически целостный отраслевой комплекс взаимосвязанных производственных процессов, в которых действия, не создающие ценность, сведены к минимуму в результате последовательных улучшений при помощи принципов, правил, инструментов и методик». Проще говоря, ПСР это оптимизированные путём последовательных улучшений производственные процессы [2].

РУСАЛ определяет свою производственную систему так: «ПС РУСАЛа – это механизм создания и поиска, отбора и внедрения лучших практик, формирования базы знаний, которые позволят достичь стратегических целей Компании, поддержать её долгосрочный рост и высокий уровень конкурентоспособности». Олег Дерипаска уточняет: «Наша цель – развитие персонала и создание культуры, направленной на непрерывное улучшение производственных и бизнес-процессов Компании, создание единого системного подхода к пониманию инструментов повышения эффективности, внедрению и распространению производственной системы РУСАЛа.» Таким образом, производственная система РУСАЛа, в отличие от Росатома, это не производственные процессы, а инструмент менеджмента, способ улучшения процессов [2].

Титов В.В., Межов И.С., Солодилов А.А. и ряд других авторов в своих работах придерживаются мнения, что эффективный менеджмент современной промышленной фирмы должен базироваться на понимании предприятия как системы, а именно - производственной системы. Авторы рассматривают предприятие как многослойную структуру, в рамках которой осуществляется интеграция в пространстве и во времени потоков материальных, финансовых, трудовых, информационных и иных ресурсов [3, 4].

Таким образом, проанализировав определения «производственная система», мы считаем, что производственная система – это комплекс производственных, управленческих и иных процессов и ресурсов организации, имеющих целью выпуск конечной

продукции/услуг (надлежащего качества, с оптимально затраченными ресурсами, точно вовремя).

Рассматривая понятие «производственная система» в теории, можно выстроить взаимосвязь теорий, включающие классические экономические теории производства и управления и современные теории производственных систем, показанная на рис. 1.

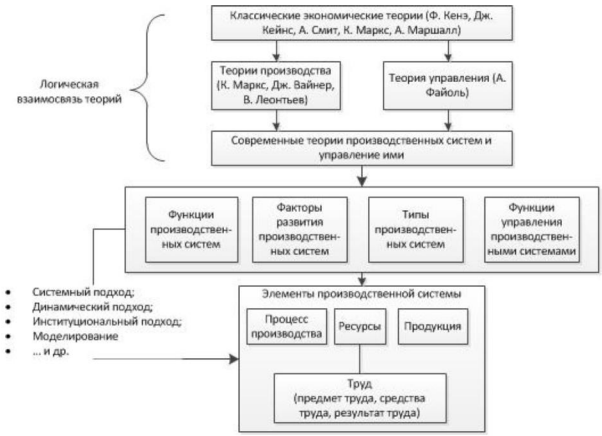


Рис. 1. Схема исследования категории «производственная система»

Весь процесс развития ПС можно представить, как множество взаимосвязанных этапов и элементов технической и организационной упорядоченности. Все элементы производственной системы функционируют с одной целью – изготовления продукции необходимой потребителю, в связи с этим предприятия должна развиваться, в том числе с помощью системного подхода. Система представляет собой множество взаимосвязанных элементов [5].

Развитие производственной системы это система, объединяющая множество подходов и практик, таких как бережливое производство, теория ограничения систем, 6 сигм, всеобщее управление качеством, управление персоналом и проектами, улучшение принципов и методов менеджмента и другие. Развитие производственной системы – это совершенствование «производственных» и «управляющих» процессов (входящих и обеспечивающих поток), нацеленное на улучшение комплексной системы показателей: ре-

зультативности (способности системы достигать планируемый результат) и эффективности (способности системы достигать результат в наименее короткие сроки с оптимальным использованием ресурсов), и представляет структурную модель для промышленных машиностроительных предприятий, показанную на рис. 2.

Safety – безопасность, Quality – качество, Delivery- сроки, Cost - затраты, Morale - дисциплина

Рис. 2. Структурная модель развития производственной системы промышленных предприятий

Таким образом, представленная структурная модель развития производственной системы позволит обеспечить устойчивое развитие промышленных предприятий, с точки зрения качества выпуска продукции (снижение/устранение несоответствий), безопасности (улучшение условий труда и окружающей среды), сокращение цикла продукции, вовлечения работников предприятия в процесс повышения эффективности путем построения системы непрерывного совершенствования и развития системы управления процессами.

Список литературы

1 Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. №642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации»

2 Карбаинов А.В. Создание эффективного предприятия. Часть 1. Что такое производственная система. Методы менеджмента качества №12, 2015 г.

3 Межов И.С. Теория менеджмента: история управленческой мысли, теория организации, организационное поведение :

учебник / И. С. Межов [и др.] ; под общ. ред. И. С. Межова. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – 579 с.

4 Титов, В.В. Производственный менеджмент: основные принципы и инструменты организационного развития: монография / В.В. Титов, И.С. Межов, А.А. Солодилов. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2008. – 276 с.

5 Ackoff R. L. Towards a system of systems concept // Management Science. – 1971, july. – Num. 11. – P. 662.

DEVELOPMENT OF THE PRODUCTION SYSTEM OF THE ENTERPRISE AS A MEANS OF ENSURING COMPETITIVENESS

Nesterov K., Almeev E.
Scientific adviser: I. Sharafeev, doctor of technical sciences, professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this article is investigated the concept «production system», features and difficulties of its formation. Its formation and development require competent setting of goals, careful planning, selection of suitable methods and tools, and a thoughtful approach to implementation. The production system is one of the main elements in the economic activity of any enterprise.

УДК 629.735.45

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ВЕРТОЛЁТА ОТ СКРУЧИВАНИЯ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА ВТУЛКИ НЕСУЩЕГО ВИНТА В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

Садреев Р.Р.[1], Пантюхин К.Н.[2]
Научный руководитель: Д.В. Неделько[1], д.т.н
(1-Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань
2-ПАО «Казанский вертолетный завод», г. Казань)

В данной работе представлены результаты исследования по определению доли общего уровня нагружения системы управления вертолета от скручивания упругого элемента втулки несущего винта. Объектом исследования является бесшарнирная втулка вертолета одновинтовой схемы, содержащая упругий элемент торсионного типа.

Рассматривается бесшарнирная втулка несущего винта лёгкого многоцелевого вертолёта. В том случае, когда вместо шарниров используется упругий элемент – торсион, помимо моментов, возникающих из-за аэродинамических сил в лопастях, возникает момент сопротивления скручиванию из-за сил упругости в торсионе, который при этом воспринимает большую нагрузку от центробежной силы [1].

Бесшарнирная втулка несущего винта состоит из упругого элемента и кожуха упругого элемента. Через кожух упругого элемента осуществляется управление углом установки лопасти за счет тяги управления. На рисунке 1 показаны два положения упругого элемента – в исходном ненагруженном и нагруженном состояниях.

По результатам статических испытаний трех образцов упругого элемента получена линейная зависимость момента сопротивления от угла закручивания упругого элемента. Результаты представлены на рисунке 2. Где: φ – угол закручивания упругого элемента относительно продольной оси, М – момент сопротивления скручиванию.

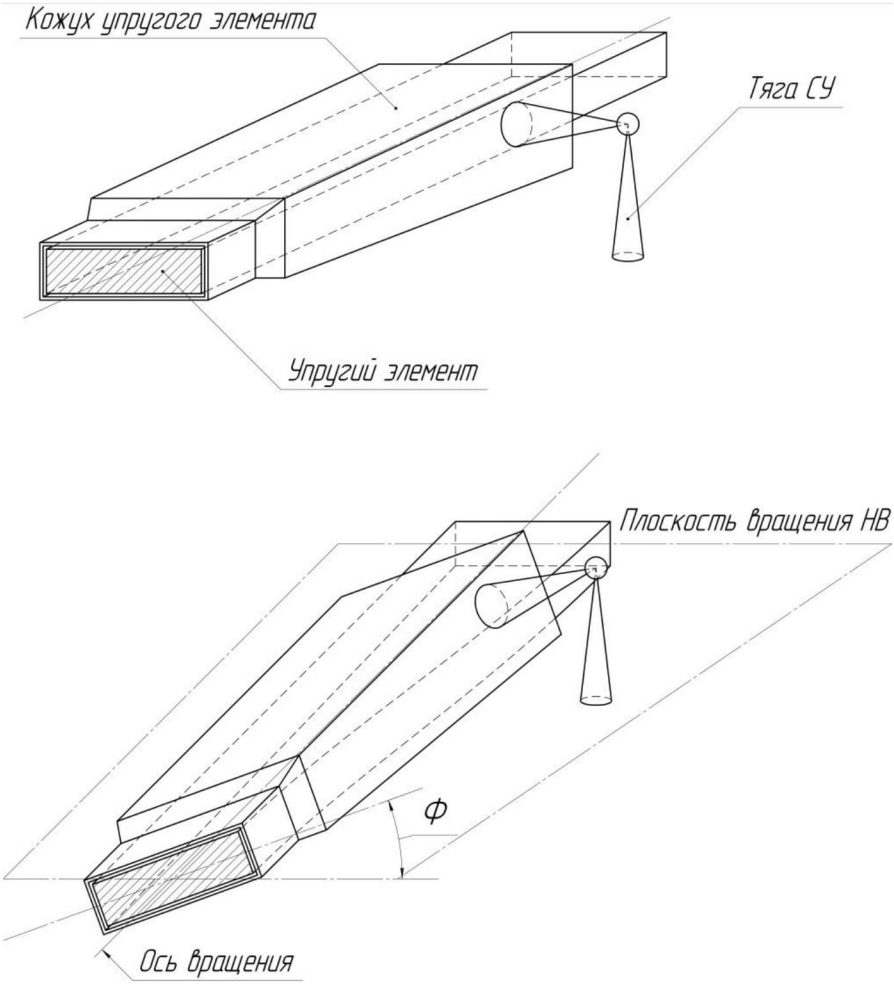


Рис. 1. Схема работы упругого элемента

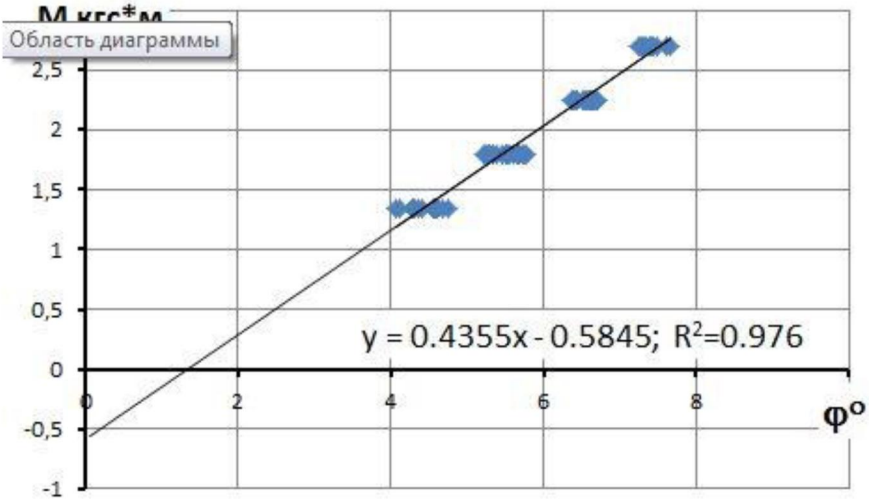


Рис. 2. График зависимости момента сопротивления скручиванию от угла скручивания упругого элемента относительно продольной оси

Для определения зависимости момента сопротивления скручиванию упругого элемента были проведены наземные испытания. В ходе которых для обеспечения центробежной силы и выделения только момента сопротивления упругого элемента, были установлены имитаторы лопастей. Испытания проводились при частотах вращения несущего винта 65% и 100%.

По результатам испытаний получена зависимость момента сопротивления от скручивания упругого элемента в поле центробежных сил и представлена на рисунке 3.

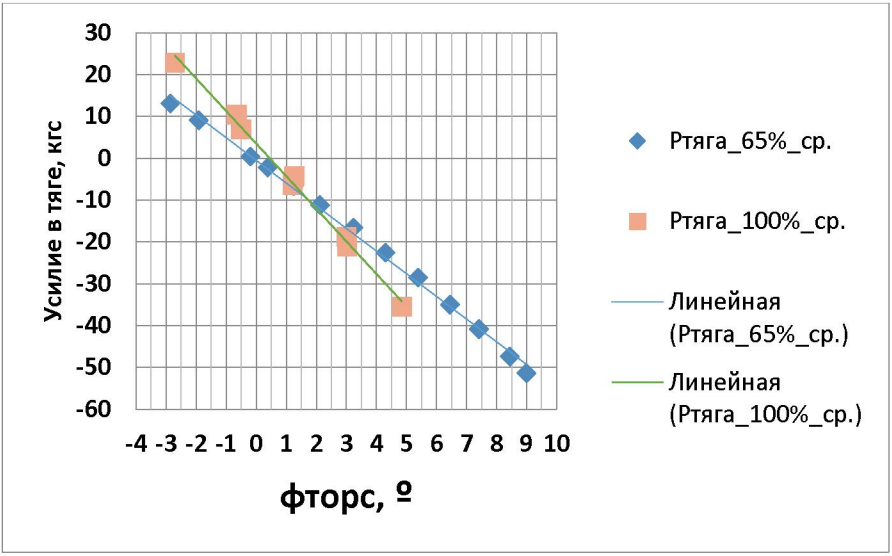


Рис. 3. График зависимости момента сопротивления скручиванию от угла скручивания упругого элемента относительно продольной оси в поле центробежных сил

Выводы.

Дальнейшая работа заключается в том, чтобы определить при помощи инженерного анализа в CAE пакетах нагрузок на забустерную часть системы управления вертолёта, возникающих за счёт сил упругостей в торсионе в поле центробежных сил. На основе полученных результатов анализа можно добиться минимального значения нагрузок на забустерную часть системы управления общим и циклическим шагом несущего винта вертолёта напряжений путём изменения жёсткостей различных частей упругого элемента. Для этого проводится анализ изменения нагрузок путём варьирования материалом и толщиной различных участков торсиона в CAE пакетах.

Список литературы

1. П. Р. Пейн. Динамика и аэродинамика вертолёта. Оборонгиз. М., 1963

DETERMINATION OF LOADS TO THE HELICOPTER CONTROL SYSTEM FROM THE TORQUE OF THE ELASTIC ELEMENT OF THE HUB OF THE ROTOR IN THE FIELD OF CENTRIFUGAL FORCES

Sadreev R.[1], Pantuhin K.[2]
Supervisor: D. Nedelko[1]
(1-Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan, 2-JSC «Kazan helicopter plant», Kazan)

In this paper we determine the value of the moment of resistance to the torsion of the torsion of the rotor hub of the helicopter under the influence of centrifugal force. The task is to determine and analyze by calculation, experimentally, and also by means of engineering analysis in CAE packages of loads on the back part of the helicopter control system arising due to the elastic forces in the torsion bar in the centrifugal force field.

УДК 629.735.45

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРОПРОЧНОСТИ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ ВЕРТОЛЕТА ТРАНСПОРТНОЙ КАТЕГОРИИ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ПУНКТА 29.952 АВИАЦИОННЫХ ПРАВИЛ АП-29

***Саматов А.Р.*[1]*, Югай П.В.*[2]**
Научный руководитель: Николаев Е.И.[1], к.т.н.
(1-Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань,
2-ПАО «Казанский вертолетный завод», г. Казань)

Авторами представлены результаты исследования процесса динамического нагружения топливных баков нижней панели фюзеляжа вертолета транспортной категории при испытаниях в соответствии с п.29.952 АП-29. В результате выполненных расчетов получено напряженно-деформированное состояние топливных баков и окружающей обстановки для вертолета транспортной категории при ударе о твердую недеформируемую поверхность.(п. 29.952 АП-29).

Современные условия требуют от вертолета максимального повышения его потребительских качеств, среди которых на ведущее место выдвигается обеспечение надежности и безопасности пилотов и пассажиров вертолета. Важнейшим условием повышения уровня безопасности экипажа и пассажиров вертолета является ударопрочность вертолета в случае аварийной посадки. С 1970-х годов были установлены критерии ударопрочности для военных и гражданских вертолетов для улучшения живучести пилотов и пассажиров после удара.

Согласно отчету [1] причинами травм и смертей пассажиров в основном является большие перегрузки вызванные ударом вертолета о землю, пожар, возникший в следствии разрушением топливной системы, а также токсичный дым, вызывающий удушье. Таким образом, проблема ударопроности топливной системы (сохранение структурной целостности топливных баков) и окружающей ее об-

становки является одной из ключевых при проектировании вертолета.

С целью расчетного исследования ударопрочности топливной системы с окружающей ее обстановкой разрабатываются математические модели характеризующие физический процесс удара вертолета о землю. По результатам расчетного исследования формируются рекомендации по увеличению энергопоглащения окружающей обстановки с целью увеличения ударопрочности топливной системы и тем самым повышения безопасности пассажиров и экипажа. В данной работе представлены результаты исследования процесса динамического нагружения топливной системы и окружающей ее обстановки вертолета транспортной категории при испытаниях в соответствии с п.29.952 АП-29. Фрагмент фюзеляжа рассматриваемого вертолета с расположением топливных баков представлен на рисунке 1.

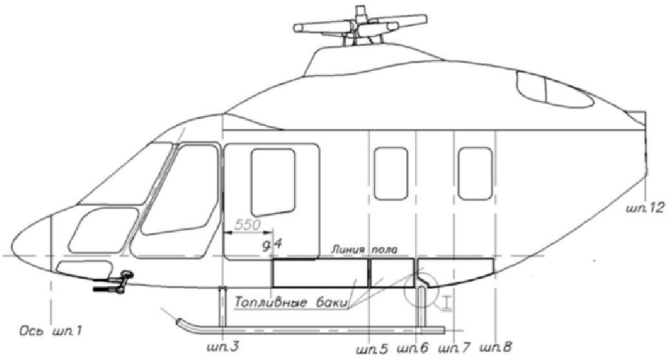


Рис. 1. Фрагмент фюзеляжа вертолета

Для подтверждения соответствия требованиям п. 29.952(а) Авиационных правил АП-29 конструкции мягких топливных баков вертолета требуется выполнение испытаний на сброс с высоты 15,2 м бака с окружающей обстановкой. С целью минимизации комплектности объекта испытаний в работе [2] установлено, что объект испытаний может быть скомплектован в виде нижней панели фюзеляжа, представленной на рисунке 2.

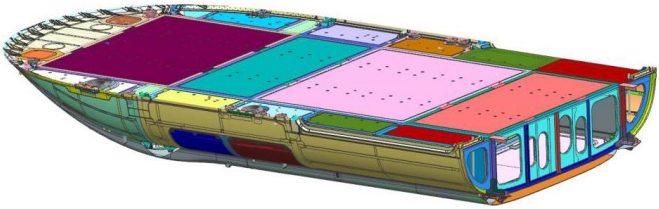


Рис. 2. Нижняя панель фюзеляжа

Расчетное исследование нагружения нижней панели выполнено в конечном-элементном комплексе MSC.Dytran с использование пре-постпроцессора MSC Patran. Конечно-элементная модель (далее - КЭ модель) нижней панели представлена на рисунке 3.

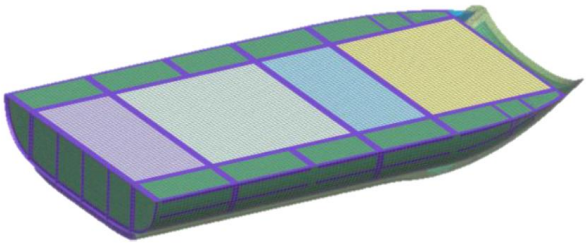


Рис. 3. КЭ модель нижней панели

Конструктивно нижняя панель состоит преимущественно из трехслойных сотовых панелей, обшивок, выполненных из материала Д16АМ, стрингеров, поясов шпангоутов и балок из материала Д16чТ. Обтекатель нижней панели состоит из сотового заполнителя и обшивок из препрега марки КМКС.

Разрушение деталей, выполненных из алюминиевых сплавов Д16АМ и Д16чТ, также учтено в КЭ модели. Критерием разрушения алюминиевых сплавов выступает максимальная величина эквивалентных пластические деформаций равная 20 %. Диаграмма деформирования алюминиевых сплавов представлена на рисунке 4.

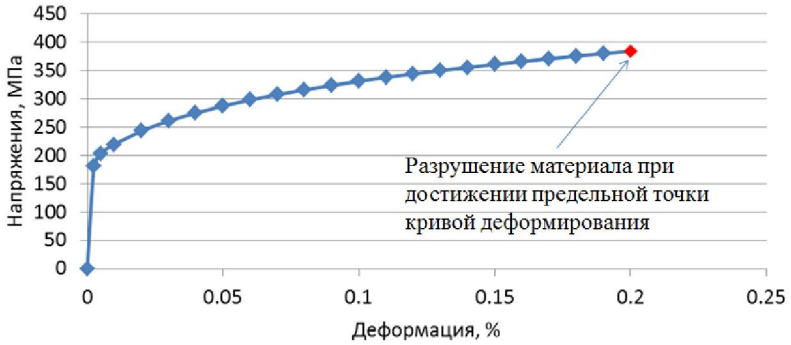


Рис. 4. Диаграмма деформирования алюминиевых сплавов

В процессе динамического нагружения элементы сотового заполнителя могут терять устойчивость и сминаться. С уменьшением объема элементов сотового заполнителя изменяется и его упругие характеристики. Упругие характеристики в начальный момент времени представлены ортотропным материалом. При достижении относительного объема конечного элемента 20% от первоначального, конечный элемент принимает заданные значения изотропного материала.

В качестве уравнения состояния для линейно сжимаемой жидкости используется уравнение для воды с плотностью ρ_0:
при сжатии $(\mu > 0)$

$$p = a_1\mu + a_2\mu^2 + a_3\mu^3 + (b_0 + b_1 + b_2\mu^2 + b_3\mu^3)\rho_0 e;$$

при растяжении $(\mu < 0)$

$$p = a_1\mu + (b_0 + b_1\mu)\rho_0 e; \;\; \mu = n - 1 = \frac{\rho}{\rho_0}.$$

где p – давление жидкости; $\rho_0 = 10^{-6}$ кг/мм^3 плотность воды в "исходном" состоянии; $e = 37{,}7$ Дж/кг удельная внутренняя энергия на единицу массы при стандартной атмосфере; $a_1 = 2200$ МПа - объемный модуль упругости воды.
Картина распределения жидкости в баках в момент удара представлено на рисунке 5. Распределение эквивалентных напряжений в конструкции нижней панели представлено на рисунке 6. По результатам полученных эквивалентных напряжений выработаны

рекомендации по увеличению ударопрочности топливной системы и окружающей ее обстановки.

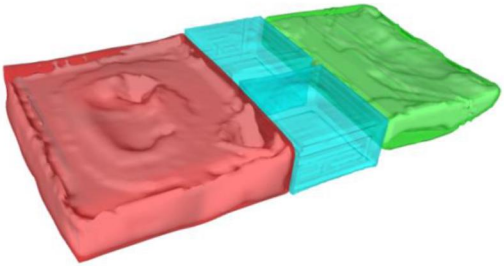


Рис. 5. Распределение жидкости в топливных баках

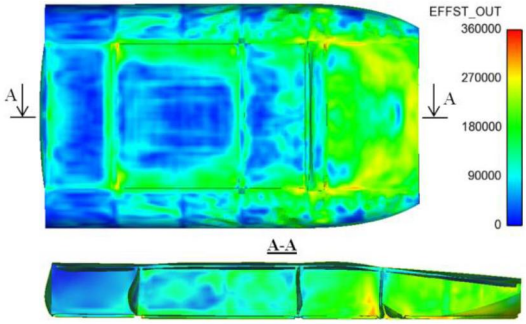


Рис. 6. Эквивалентные напряжения в нижней панели (кПа)

Выводы:

1. Проведено исследование процесса динамического нагружения топливных баков нижней панели фюзеляжа вертолета при испытании на сброс.

2. Получены значения эквивалентных напряжений в конструкции нижней панели

3. Получена картина распределения жидкости в баках в момент удара.

Список литературы

1. Robertson S H, Johnson N B, Hall D S, et al. A study of transport airplane crash-resistant fuel systems. DOT/FAA/AR-01/82, 2002.

2. Неделько Д.В., Югай.П.В, Саматов А.Р., Моделирование процесса динамического нагружения вертолета транспортной категории при испытании на сброс в соответствии с требованиями пункта 29.952 авиационных правил АП-29.

SIMULATION AND ANALYSIS OF CRASHWORTHINESS OF FUEL TANKS FOR HELICOPTER TRANSPORT CATEGORY IN ACCORDANCE WITH 29.952 AIRCRAFT REQUIREMENTS AP-29

Samatov A.[1], Yugay P.[2]
Supervisor: E. Nikolaev[1], PhD
(1-Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan, 2-Kazan Helicopter Plant, Kazan)

The authors present the results of research the fuel tanks bottom panel of dynamic loading of the fuselage of the helicopter transport category when tested in accordance with 29.952 AP-29. Calculation and simulation of dynamic loading the lower panel of the helicopter fuselage at impact on a hard unyielding surface in the finite element calculated MSC.Dytran. As a result of the calculations, the stress and strain of the fuel tanks and the surrounding environment was obtained for the subsequent selection of the optimum design parameters.

УДК 629.7.036.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН И РАБОЧИХ КОЛЕС

Сафина Д.М., Ольнева Ю.А.
Научный руководитель: Р.Х. Макаева, д.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Проведены результаты экспериментальных и расчетных исследований микроперемещений в процессе вибраций круглых пластин, закрепленных в центре. Применялись методы голографической интерферометрии и конечных элементов. Получены и систематизированы голографические интерферограммы резонансных форм колебаний пластин. Результаты были применены при анализе вибраций реального рабочего колеса.

В процессе проектирования и изготовления конструкций, работающих в условиях высоких вибрационных нагрузкок, актуальной проблемой является определение их резонансных (собственных) частот и форм колебаний. При подобных исследованиях применяются теоретические и экспериментальные методы.

С помощью голографической интерферометрии можно визуализировать формы колебаний объектов на резонансных частотах, поэтому этот метод является наиболее универсальным экспериментальным для исследования диффузно отражающих объектов, находящихся под воздействием вибрационных нагрузок [1].

Для дисков постоянной толщины применяют формулы, полученные для круглых пластин. Следовательно, такие пластины являются прототипами рабочих колес. При аналитических расчетах используют метод Релея – Ритца. Реальные диски имеют формы колебаний такие же, как у круглых пластин: с узловыми диаметрами, узловыми окружностями и комбинированные.

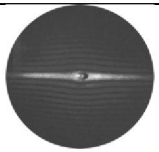
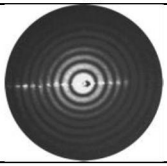
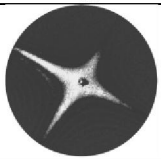
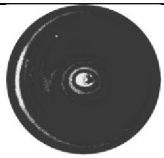
Расчёт собственных частот колебаний диска выполняют по формуле:

$$\nu = \frac{\alpha}{2\pi R^2}\sqrt{\frac{D}{\rho h}}$$

В работе представлены исследования дисков и рабочих колес, выполненных экспериментально – методом голографической интерферометрии и теоретически – методом конечных элементов. Исследована последовательность появления форм колебаний однородного диска, представляющая научный и практический интерес. Знание порядка возникновения той или иной гармоники уменьшает вероятность пропуска резонансной моды.

Формы колебаний дисков были получены голографическим методом усреднения по времени. Зарегистрированы голографические интерферограммы нескольких форм колебаний диска на резонансных частотах. Определенная форма колебаний диска обозначается символом F_{sn} , где s – число узловых окружностей, n – число узловых диаметров [2]. В табл.1. представлены голографические интерферограммы первых четырех форм колебаний, систематизированные по числу узловых диаметров.

Таблица 1

1	2	3	4
F_{01}	F_{00}	F_{02}	F_{10}
			
f = 150 Гц	f = 300 Гц	f = 438 Гц	f = 1600 Гц

Численные исследования собственных частот и форм колебаний круглых пластин проводилось при помощи программного комплекса ANSYS.

В таблице 2 приведены формы и собственные частоты колебаний диска, полученные расчетным способом. Заданные при расчетах геометрические и физические параметры соответствуют диску, исследованному экспериментально (табл. 1).

Таблица 2

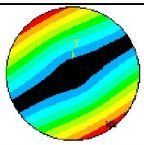
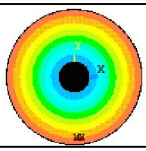
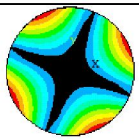
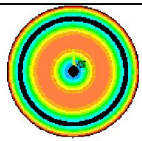
1	2	3	4
F_{01}	F_{00}	F_{02}	F_{10}
			
f = 149 Гц	f = 295 Гц	f = 410 Гц	f = 1654 Гц

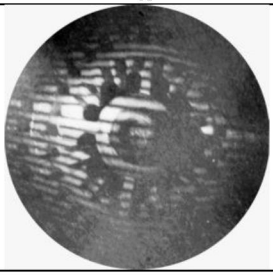
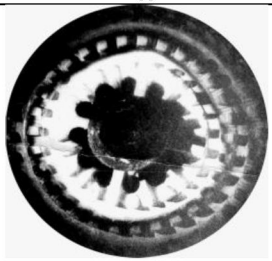
Рисунок форм колебаний идентичен полученным экспериментально. Расхождение в значениях расчетных и экспериментальных частот составляет не более 5%.

Полученные результаты, были применены при экспериментальных исследованиях собственных частот и форм колебаний рабочего колеса диска ротора диспергатора, применяющегося для приготовления различных мелкодисперных сред, водно-топливных эмульсий.

Интерферограммы некоторых форм колебаний малого колеса диспергатора, полученные при голографических исследованиях, приведены в табл.3.

Как видно из представленных рисунков, диск совершает резонансные колебания, картины форм которых аналогичны круглым пластинам.

Таблица 3

1	2
F_{01}	F_{00}
	
f = 694 Гц	f = 1364 Гц

Диспергаторы используют так же для обеззараживания воды, стерилизации молока и в других целях. Существуют различные способы приготовления эмульсий: механический, электрический, химический. Каждый способ осуществляется различными видами воздействий: акустическим, гидродинамическим, механическим, кавитационным и комбинированным.

Знание резонансных частот колебаний рабочего колеса позволило осуществить комбинированное воздействие на обрабатываемую среду, совмещающее одновременно механическое и акустическое воздействия [3]. Это позволило улучшить качество обработанной эмульсии.

Список литературы

1. Островский Ю.И., Бутусов М.М., Островская Г.В. Голографическая интерферометрия. М.: Наука, 1977. 339 с.

2. Макаева Р.Х., Каримов А.Х., Царева А.М. Диагностика деталей и узлов турбомашин по их вибрационным характеристикам с применением голографической интерферометрии. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. 2011. 242 с.

3. Патент 2288777 Российская Федерация, 7 B01F 7/00. Акустический способ обработки жидкотекучих сред в роторно-пульсационном акустическом аппарате / В.М.Фомин, Р.Ш. Аюпов, Р.Х. Макаева, А.М. Царева и др. – № 2005117678/15; заявл. 07.06.2005; опубл. 10.12.2006, Бюл. № 34 – 31 с.: 26 ил.

THE EXPERIMENTAL-CALCULATED METHOD MEASUREMENTS OF MICRO- DISPLACEMENTS IN VIBRATIONS OF ROUND PLATES AND WORKING WHEELS

Safina D., Olneva Y.

Scientific supervisor: R. Makaeva, Doctor of technical sciences, docent

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The results of experimental and calculated studies of micro-displacements in the process of vibrations of round plates fixed in the center are presented. The methods of holographic interferometry and finite elements was applying. Holographic interferograms of the resonance modes of plate vibration are obtained and systematized. The results were applied in the vibration analysis of the real work of working wheels.

УДК 621.7.073

СКЛАДЧАТЫЕ СТРУКТУРЫ С ПЛОСКИМИ ГРАНЯМИ КОНТАКТА

Тимошкин Д. И., Файзуллина Н. М.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассматриваются перспективные виды заполнителей для многослойных панелей авиационного назначения, которые могут выступать альтернативой распространенному сотовому заполнителю.

Многослойные конструкции, состоящие из прочных тонких внешних слоев и расположенного между ними легкого заполнителя, являются одним из наиболее перспективных конструктивных элементов современных транспортных средств.

Они обладают рядом неоспоримых преимуществ, это обусловлено тем, что применение таких конструкций одновременно решает несколько задач: рациональное включение материала в работу по восприятию внешних нагрузок и обеспечение таких функций, как шумопоглощение, теплоизоляция и т.д. Однако, стоимость основных конструкционных заполнителей весьма высока, а изготовление криволинейных панелей или панелей переменной толщины является сложной технической задачей.

В соответствии с особенностями эксплуатации и формой корпуса летательных аппаратов можно сформировать следующие основные требования к заполнителям:

- обеспечение высоких функциональных параметров,
- наличие развитой площади соединения с обшивкой,
- возможность изготовления из широкого спектра материалов,
- высокая технологичность и низкая себестоимость.

В связи с этим заманчивой является перспектива получения заполнителей из цельной листовой заготовки. Для получения такого заполнителя используется технология изготовления насыщен-

ных тонкостенных конструкций изометрическим изгибанием без нарушения структуры и целостности материала. Получаемые таким образом складчатые структуры позволяют создавать широкий спектр разнообразных по архитектуре заполнителей с высокими функциональными и технологическими качествами.

Существуют разные типы заполнителей: сотовые, ячеистые, складчатые (рис.1) и т.д.

а *б* *в*

Рис. 1. Разновидности заполнителей для многослойных панелей: а – сотовый; б – ячеистый; в – складчатый

Сравнивая сотовые и складчатые заполнители можно заметить множество сходств в применение и их свойствах. У складчатых заполнителей, основным конструктивным признаком является то, что они представляют собой многократно повторяющееся комбинации из плоских тонкостенных элементов, соединённых меж собой по кромкам с образованием ребер. Сотовые заполнители можно охарактеризовать как регулярные структуры, набранные из трубчатых элементов, имеющих сквозной канал между обшивками. При детальном их рассмотрение можно выделить ряд плюсов и минусов обеих типов заполнителей [1–4].

Преимуществом складчатых заполнителей является:

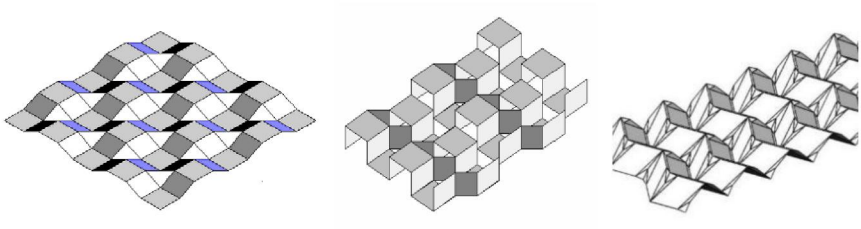
- возможность удаления влаги из внутренней полости многослойной панели,
- высокая прочность и жесткость,
- простая технологическая схема изготовления заполнителей без дополнительных операций склейки, нарезки и пропитки заполнителя,
- хорошие акустические характеристики, как при звукоизо-

ляции, так и при звукопоглощении.

Основной недостаток складчатых заполнителей заключается в слабом сцеплении его с поверхностью обшивки и не высокими показателями жёсткости, в сравнение с сотовым типом.

Сотовые заполнители отличаются высокими показателями жёсткости и прочности при малом весе. Однако технология их изготовления сложнее, а также отсутствует возможность удаления влаги ввиду замкнутых контуров.

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что главным препятствием для широкого применения складчатых заполнителей является недостаточная поверхность сцепления с обшивкой, эта задача может быть решена различными способами (рис. 2).



а *б* *в*

Рис. 2. Складчатые заполнители с плоской гранью контакта

Наиболее выгодным является формирование плоских площадок контакта с обшивкой за счет определенной геометрии складывания структуры из цельного листа, как показано на рисунке 1 а, в.

Работа осуществлена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 17-48-160267.

Список литературы

1. Халиулин В.И. Технологические схемы изготовления многослойных конструкций – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 1999. – 168 с.

2. Закиров И.М., Алексеев К.А., Файзуллина Н.М. Разработка технологической оснастки для формообразования складчатого

заполнителя с плоской гранью контакта // Авиационная промышленность. – 2016. – № 4. – С. 5-6.

3. Nojima T. Origami Modeling of Functional Structures based on Organic Patterns // JSME International Journal – 2002. – Vol. 45. – № 1. – P. 364–370.

4. Dureisseix D. An Overview of Mechanisms and Patterns with Origami // International Journal of Space Structures – 2012. – Vol. 27. – № 1. – P. 1–14.

FOLDED STRUCTURES WITH FLAT CONTACT EDGES

Timoshkin D., ***Fayzullina N.***
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

We are looking at some perspective types of filling materials for aviation panels with several layers, which can be an alternative for more usually exploited cellular filling material.

УДК 629.735.45

ПОСТРОЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВАЛА БЕСШАРНИРНОГО НЕСУЩЕГО ВИНТА ОТ ПОЛОЖЕНИЯ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ

Хабибуллин Д.Р.[1], Мухаметшин Т.А.[2], Сафиуллин А.Ф.[2]
Научный руководитель: Д.В. Неделько[1], д.т.н.
(1-Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань,
2-ПАО «Казанский вертолетный завод, г. Казань)

Авторами разработан способ определения действующих изгибных напряжений в вале бесшарнирного несущего винта вертолета в зависимости от положения органов управления при выполнении наземных режимов. Исследована возможность применения полученных результатов для контроля состояния вала несущего винта в эксплуатации с целью обеспечения безопасности полетов.

Вал несущего винта (НВ), входящий в состав главного редуктора, является особо ответственным элементом любого вертолета. В процессе работы вал НВ нагружается изгибающим моментом, действующим в плоскости вращения НВ, и подвергается повторно-переменному нагружению, под действием которого может произойти усталостное разрушение (рисунок 1).

Величины напряжений в вале НВ измеряются путем установки тензодатчиков в интересуемых сечениях вала НВ во время проведения летных и наземных испытаний вертолета или при проведении усталостных испытаний на специальных стендах в лабораториях. Однако, при эксплуатации вертолета, измерение и запись величин напряжений в защищенный бортовой накопитель вертолета не проводится в виду отсутствия тензометрирования вала НВ. В связи с этим возникает необходимость определения действующих изгибных напряжений с использованием других способов [1].

Рис. 1. Усталостное разрушение вала НВ вертолета
при проведении усталостных испытаний

Для решения указанной выше проблемы в данной работе рассмотрен способ определения действующих изгибных напряжений вала НВ вертолета в зависимости от положения органов управления. В качестве входных данных использованы результаты измерений изгибных напряжений на валу НВ и отклонений органов управления при проведении летных и наземных испытаний вертолета.

Предварительный анализ материалов испытаний показал, что большие изгибные напряжения в вале НВ возникают только при выполнении наземных режимов. Это объясняется тем, что в полете при отклонении ручки циклического шага изменение угла наклона плоскости вращения НВ влечет за собой изменение наклона фюзеляжа. На рулениях же при изменении конуса вращения НВ положение фюзеляжа остается неизменным, что приводит к более существенному деформированию вала НВ и увеличению его нагруженности.

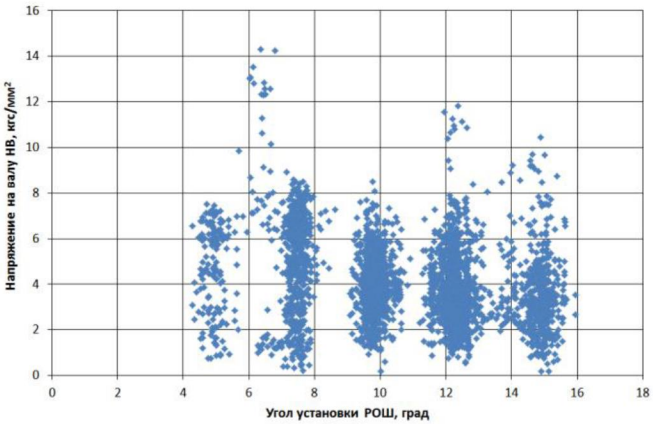


Рис. 2.

На рисунке 2 приведена построенная зависимость изгибных напряжений от угла установки ручки общего шага (ОШ). Анализ данного графика показывает, что существует несколько диапазонов величин ОШ, для каждого из которых должны быть построены свои уравнения зависимостей: 4-6°, 6-8°, 9-11°, 11-13°, 14-16°. В итоге необходим вывод 5 уравнений зависимостей и при определении изгибных напряжений на валу НВ для каждого частного случая должны быть использованы те уравнения, которым соответствует величина ОШ, полученная из расшифрованных данных ЗБН.

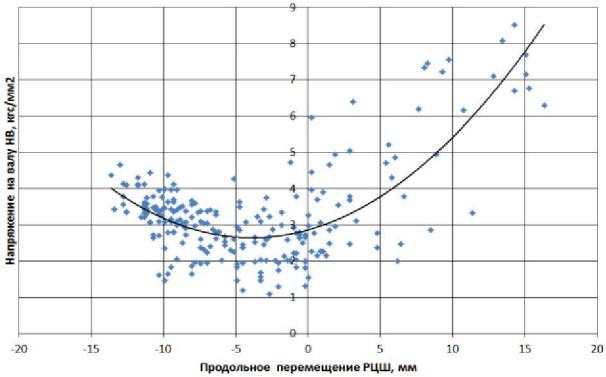


Рис. 3.

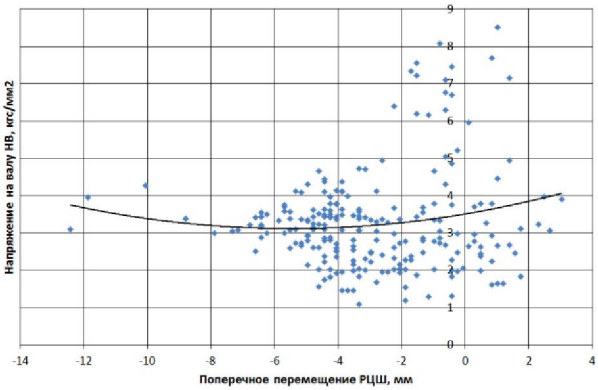


Рис. 4.

На рисунках 3-4 приведены графики зависимостей изгибных напряжений от положения ручки циклического шага (РЦШ) для диапазона установки угла РОШ 9-11°. Анализ данных графиков показывает, что вал НВ на наземных режимах в основном нагружается от движения РЦШ в продольном направлении, а движение в поперечном направлении мало влияет на нагруженность вала НВ. Это объясняется тем, что пилот двигает РЦШ в поперечном направлении в тех случаях, когда имеют место быть разворачивающий и кренящий моменты, к примеру, возникающие от действия бокового ветра. Для визуализации построена трехмерная поверхность с наложением движения РЦШ в продольном и поперечном направлениях (рисунок 5).

На зашвартованном вертолете при проведении испытаний также были измерены показания тензодатчиков и записаны хода органов управления. В результате была построена трехмерная плоскость аналогично предыдущей. Анализ этого трехмерного графика показал, что на зашвартованном вертолете, когда фюзеляж жестко зафиксирован и не может следовать за конусом несущего винта, на нагруженность вала НВ влияет как продольное, так и поперечное движение РЦШ (рисунок 6).

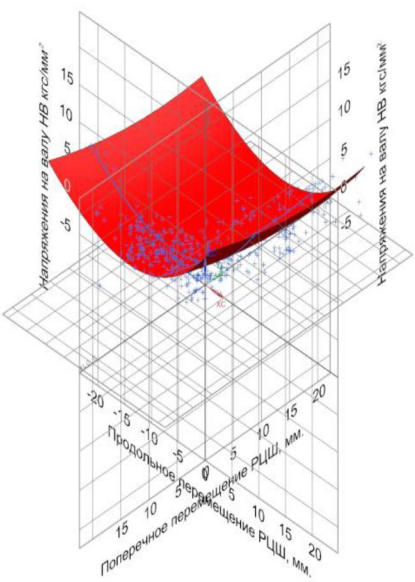


Рис. 5.

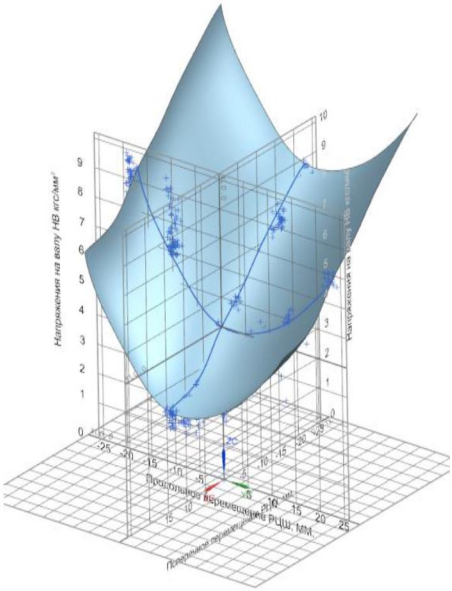


Рис. 6.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при выполнении наземных режимов на нагруженность вала НВ в основном влияет движение РЦШ в продольном направлении и влиянием направления поперечного можно пренебречь. Уравнения зависимостей РОШ-РЦШ сведены в таблице ниже, где y – это величина напряжения, x – величина отклонения РЦШ в продольном направлении.

Таблица 1

Значение ОШ, град	Уравнение зависимости
4-6	$y = 0{,}0034x^2 - 0{,}1182x + 1{,}9384$
6-8	$y = 0{,}0031x^2 - 0{,}1062x + 0{,}711$
9-11	$y = 0{,}0112x^2 - 0{,}0694x + 2{,}1328$
11-13	$y = 0{,}0105x^2 - 0{,}0963x + 2{,}5909$
14-16	$y = 0{,}0097x^2 - 0{,}1408x + 2{,}145$

Приведенные в таблице уравнения можно использовать для определения действующих изгибных напряжений в вале бесшарнирного несущего винта вертолета в зависимости от положения органов управления при выполнении наземных режимов.

Список литературы

1. Хабибуллин Д.Р., Михайлов С.А., Неделько Д.В., Мухаметшин Т.А. «Метод диагностирования действующих напряжений и определения их предельно допустимых уровней в эксплуатации для вала бесшарнирного несущего винта вертолета», *Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли», сборник докладов*, 2016 г., стр. 109-114.

CONSTRUCTION OF DEPENDENCE OF BENDING STRESS HINGLESS ROTOR FROM THE POSITION OF CONTROLS

Khabibullin D.[1], Mukhametshin T.[2], Safiullin A.[2]
Supervisor: D. Nedel'ko[1], Dr.Techn.Sc.
(1-Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)
(2-JSC «Kazan helicopter plant», Kazan)

The authors developed a method for determining the acting flexural stresses in the shaft of a hingeless rotor rotor, depending on the position of the controls when performing ground operations. The possibility of applying the obtained results to control the state of the rotor shaft in operation in order to ensure flight safety was investigated.

УДК 629.7.015.4:539.4

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИЗГИБНОЙ ЖЕСТКОСТИ БАЛКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ

***Хуан Ш.*[1,2]**
Научный руководитель: В.А. Костин[1], д.т.н., профессор
(1-Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, г. Казань,
2-Шэньянский аэрокосмический университет, г. Шэньян)

Рассматривается задача идентификации изгибной жесткости консольной балки с переменным сечением и динамической нагрузкой при наличии температурного поля. Предлагается итерационный подход с использованием функции цели и матрицы чувствительности. Численные результаты показывают пригодность предложенного подхода.

Цель работы. Разработка и апробация подхода с использованием алгоритма чувствительности [1] для решения задач идентификации в области прочности авиаконструкций.

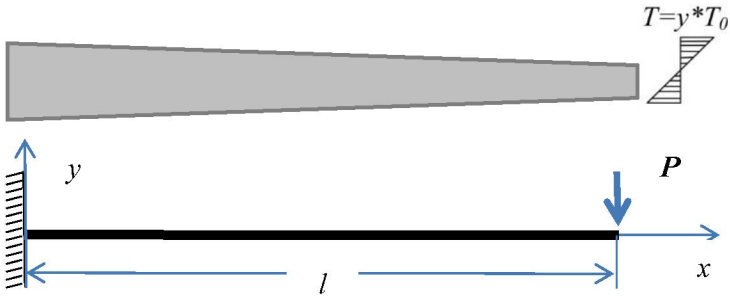


Рис. 1. Вид консольной балки и расчетная схема

Постановка задачи. Рассмотрим консольную балку длиной l, с переменным сечением и, соответственно, с переменной изгибной жесткостью (рис. 1). Погонная масса m и изгибная жесткость

EI убывают линейно от заделанного конца к свободному. На балку действует сила *P*, сосредоточенная на свободном конце с угловой частотой ω. Температура распределяет по линейному закону в сечении. Колебания представляет собой вынужденные, гармонические.

Предполагаем, что в результате эксперимента уже получены значения кривизны балки $y''_{\text{эксп}}$ в сечениях x_i, $i = \overline{0,n}$. Указанная задача восстановления изгибной жесткости *EI* балки относится к классу обратных задач, т.е. задач идентификации.

С использованием алгоритма чувствительности решим поставленную задачу на основе математической модели балки.

Балочная модель. Известное уравнение изгибных колебаний балки имеет вид [2]:

$$(EI\, y'')'' - \omega^2 m y = q. \qquad (1)$$

здесь $q=q(x)$ – амплитуда распределенной нагрузки. В случае нашей задачи распределенной нагрузки нет, т.е. $q(x)=0$ для любого $x\in[0;\ l]$. Краевые условия для данного вида заделки балки и действующей нагрузки имеют вид:

$$y(0) = 0,\quad y'(0) = 0, \qquad (2)$$

$$(EI\, y'')_{x=l} = M_T,\ (EI\, y'')'_{x=l} = -P. \qquad (3)$$

Система дифференциальных уравнений (1)-(3) с помощью метода интегрирующих матриц[2] приводится к следующей системе линейных алгебраических уравнений:

$$[A]\{y''\} = \{M\} + \{M_T\}, \qquad (4)$$

где $\{y''\}, \{M\}$ - столбцы порядка n значений соответствующих величин в расчетных сечениях; $M_T = \int_{-h/2}^{h/2} \alpha E T_0 y b y dy = EJ\alpha T_0$, $[A]$ – квадратная матрица $n \times n$, значения которой вычисляются по формуле $[A] = [EI] - w^2[J_2]^2[m][J_1]^2$; $[EI]$ – диагональная матрица значений жесткостей балки в расчетных сечениях; $[J_1], [J_2]$ - интегрирующие матрицы первого и второго рода, численные аналоги интеграла от 0 до x_i и интеграла от x_i до 0 соответственно. Таким образом, решаем прямую задачу через уравнение (4), дающее вектор-столбец значений кривизны $\{y''\}$ в сечениях x_i.

Обратная задача. Дальше перейдем к рассмотрению обратной задачи, т.е. будем определять изгибную жесткость EI по известным из эксперимента $y''_{эксп}$[3]. В соответствии с общей схемой метода наименьших квадратов, решается задача минимизации функции, представляющей собой сумму квадратов разностей экспериментальной $y''_{эксп}$ и расчетной кривизны y''.

$$J = \sum_{i=0}^{n} (y''_{i,эксп} - y''_i)^2 \quad (5)$$

В матричном виде целевую функцию можно представить следующим образом:

$$J = (\{y''_{эксп}\} - \{y''\})^T (\{y''_{эксп}\} - \{y''\}) \quad (5')$$

При этом, расчетная кривизна $\{y''\}$ должна удовлетворять СЛАУ (4).

Матрица чувствительности. По определению, матрица чувствительности $[\psi]$ представляет собой матрицу производных каждого неизвестного параметра по каждому заданному параметру модели, чувствительность к изменению которого необходимо исследовать. В качестве модели выступает СЛАУ (4). Неизвестными параметрами здесь являются значения кривизны y'' в сечениях конструкции, исследуется чувствительность к изменению значений изгибной жесткости EI в этих же сечениях. Таким образом, матрица чувствительности[3]:

$$[\psi] = \begin{matrix} \frac{\partial y''_1}{\partial EI_1} & \cdots & \frac{\partial y''_1}{\partial EI_n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{\partial y''_n}{\partial EI_1} & \cdots & \frac{\partial y''_n}{\partial EI_n} \end{matrix}$$

Последовательно дифференцируя обе части СЛАУ (4) по EI_i, получаем n СЛАУ для нахождения элементов матрицы чувствительности $[\psi]$. В результате, столбец j матрицы $[\psi]$ находим как решение СЛАУ:

$$[A] \begin{Bmatrix} \psi_{1,j} \\ \cdots \\ \psi_{n,j} \end{Bmatrix} = - \begin{matrix} 0 \\ \cdots \\ y''_j \\ \cdots \\ 0 \end{matrix} \quad (6)$$

Алгоритм метода чувствительности: из (5'), на основе экстремального условия функционала J с помощью матрицы чувствительности $[\psi]$ можно записать **:**

$$[\psi]^T[\psi]\{\partial EI\} = [\psi]^T(\{y''_{\text{эксп}}\} - \{y''\}) . \quad (7)$$

Получив $[\psi]$ предыдущим подходом, с помощью (7) наша задача будет решена итерационным способом:

$$\{EI^{k+1}\} = \{EI^k\} - e\{\partial EI\}, \quad (8)$$

Результаты. Вышеописанный подход был апробирован на следующих исходных данных. Длина балки l=2,72 м, погонная масса в сечении заделки m=26,3 Н/м и линейно убывает к свободному концу до значения 13,15 Н/м, распределение температуры в сечении T_0 = 20˚С/м, возбуждающая сила P = 10Н с частотой колебаний ω=113,72 рад/сек.

Из-за отсутствия данных физического эксперимента численно с помощью СЛАУ были получены значения деформаций путем решения прямой задачи при$\{EI_{исх}\}$. Для того, чтобы эти результаты в дальнейшем использовать в качестве ориентировочных значений физического эксперимента $\{y''_{\text{эксп}}\}$ в них вносились погрешности около 2% характерная для измерений при фиксаций деформаций конструкции.Зададим нулевое приближение $\{EI^0\}$=4601000 Н/м^2, шаг метода e=0,05.

Выполним итерацию алгоритмом метода чувствительности. Рис. 2 показывает, как сходит функция цели по шагам итерации.

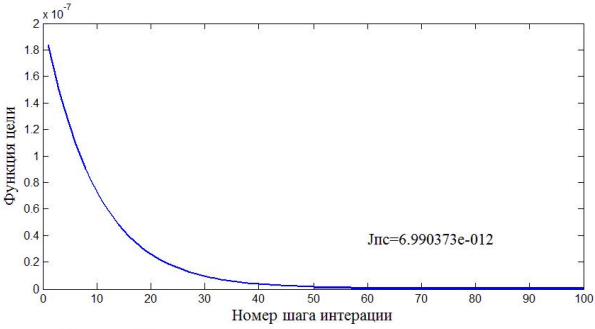


Рис.2. Изменение функции цели по шагам

Исходная, экспериментальная кривизна и кривизна последнего шага показаны в Рис. 3.

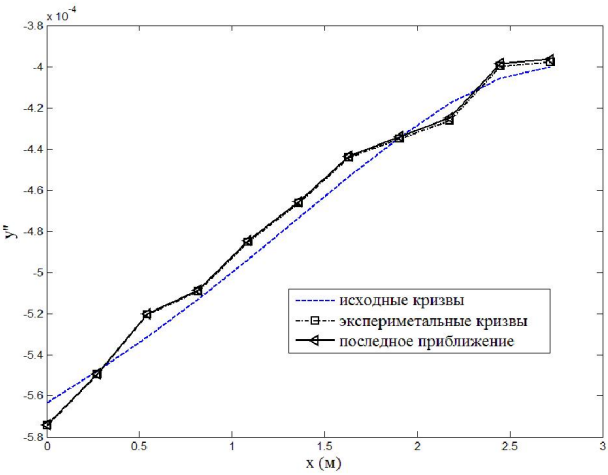


Рис. 3. Кривизны по длине балки

В рис.4 показаны исходная, заданная, и полученные жесткости EI через уравнение и итерацию.

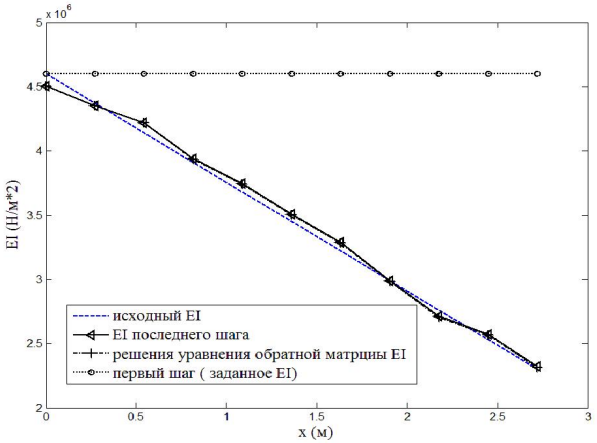


Рис. 4. *EI* по длине балки

Численные результаты показывают высокую точность и высокую эффективность метода итерации алгоритмом чувствительности. Предложенный подход можно использовать в задачах идентификации теплонагруженной балки при колебании.

Список литературы

1. Хог Э., Чой К., Комков В. Анализ чувствительности при проектировании конструкций: Пер. с англ. — М.: Мир, 1988.— 428с.

2. Костин В.А., Валитова Н.Л. Теория и практика прочностной отработки конструкций летательных аппаратов. — Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2013. — 136 с.

3. Костин В.А., Валитова Н.Л. Идентификация изгибной жесткости балки с использованием функции чувствительности // Новые технологии, материалы и оборудования российской авиакосмической отрасли, Казань, 10-12 августа, 2016. 86 – 91 с.

IDENTIFICATION OF THE FLEXURAL RIGIDITY OF A BEAM USING SENSITIVITY FUNCTION WITH TEMBERATURE FIELD

Sheng Huang[1,2]

Supervisor: V.A. Kostin[1], professor, Doctor of Technical Sciences

(1-Kazan National Research University named after A.N. Tupolev, 2-Shenyang Aerospace University, Shenyang)

The problem of identifying the flexural rigidity of a cantilever beam with variable cross-section under dynamic and temperature load is considered. The iterative approach using sensitivity function and matrix is suggested. Numerical results show the feasibility of the proposed approach.

УДК 629.735.45

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН РЕГУЛИРОВОК ЭЛЕМЕНТОВ ВЕРТОЛЕТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ЗАДАННЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ВЕЛИЧИНЫ РЕСУРСА

Шакиров М.З.
Научный руководитель: В.А. Лигай, профессор,
Д.В. Неделько, д.т.н, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Для определения предельных регулировочных параметров элементов с регулируемыми элементами разработан графоаналитический метод, применимость которого рассмотрена на примере конструкции дополнительного подвесного топливного бака. Настоящий метод применим и к другим аналогичным конструкциям с регулируемыми элементами, регулировка которых существенно влияет на долговечность и ресурс конструкции в целом.

В работе [1] авторами разработан теоретический метод определения допустимых регулировочных параметров для регулируемых вертолетных конструкций с учетом заданной величины ошибки регулирования в процессе сборки или эксплуатации таких конструкций. Однако не менее важной задачей является определение предельных значений этих регулировочных параметров. Под предельными значениями регулировки в данном случае понимается следующее. Диапазон регулировки обычно имеет конструктивный диапазон, ограниченный, например, длиной резьбы регулируемого элемента. Однако такие предельные величины на практике не могут использоваться по понятным причинам. Очевидно, что предельные значения регулировки должны быть заданы исходя из проектных ресурсных показателей конструкции, поскольку сам процесс регулирования влияет на эти показатели, как то показано в работе [1].

С целью исследования влияния параметров регулировки на общее напряженное состояние испытываемой конструкции разработана обобщенная конечно-элементная модель установки топливного бака, описание которой приведено в работе [2].

Для определения влияния диапазона регулировки на напряженное состояние ложемента выполнена серия расчетов с применением разработанной конечно-элементной модели. Зависимость, определенная расчетами (см. рисунок 1; правый нижний график), характеризует уровень постоянных напряжений в наиболее нагруженном месте конструкции. Обозначим постоянные напряжения как σ^c . Поскольку эти напряжения действуют совместно с переменными напряжениями, то далее необходимо по формуле Одинга И.А. выполнить приведение переменной составляющей действующих напряжений к σ_0^c (см. [3]) для симметричного цикла нагружения:

$$\sigma_{\text{прив}}^{\nu} = -\left|\frac{\sigma_0^c}{2}\right| + \sqrt{\left(\frac{\sigma_0^c}{2}\right)^2 + \sigma^c \cdot \sigma^{\nu} + \left(\sigma^{\nu}\right)^2} = \sqrt{\sigma^c \cdot \sigma^{\nu} + \left(\sigma^{\nu}\right)^2} \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{прив}}^{\nu}$ – приведенное значение переменной составляющей напряжений относительно нового значения статической составляющей напряжений;

σ_0^c– нормальное значение статической составляющей напряжений;

$\sigma_0^c = 0$ при симметричном цикле;

σ^{ν} – исходное значение переменной составляющей напряжений;

σ^c – исходное значение постоянной составляющей напряжений.

Зависимость приведенных переменных напряжений от постоянных напряжений, вызванных регулировкой показана на рисунке 1 (правый верхний график). При этом для определения переменной части напряжений учтен фактор синусоидальной вибрации в вертикальном направлении и соответствующее действие вертикальной перегрузки при нагружении в процессе стендовых испытаний.

Далее выполнен расчет величины ресурса ложемента топливного бака при различных значениях приведенных переменных напряжений. Расчет выполнен по общеизвестной формуле для расчета ресурса (см., например, [4]):

$$R = \frac{N_{\min}}{3600 \cdot f \cdot \eta_{\Sigma}} \left(\frac{\Delta\sigma_{\text{исп}}}{\Delta\sigma_{\text{э}} \cdot \eta_{\sigma} \cdot K} \right)^{m} \qquad (2)$$

где $N_{\min}$ – наименьшая долговечность по результатам испытаний;

f – частота (число циклов нагрузки за секунду);

η_{Σ}– коэффициент надежности по гипотезе линейного суммирования повреждаемости;

η_{σ} – коэффициент надежности по уровню переменных напряжений;

$\Delta\sigma_{\text{исп}}$ – амплитуда переменных напряжений при усталостных испытаниях;

$\Delta\sigma_{\text{э}}$ – эквивалентное напряжение (расчетное).

В качестве предела выносливости для материала, из которого изготовлен ложемент (конструкционный алюминиевый сплав АК6) в расчете принята величина σ_{-1} =10 ДаН/мм^2 на испытательной базе $N_{-1}= 10^7$ циклов нагружения [5]. Поскольку данная величина предела выносливости получена для симметричного изгиба гладких полированных образцов, то следует выполнить учет факторов снижения предела выносливости натурной конструкции. Этот учет выполнен в соответствии с методикой работы [6]. При этом учтены: фактор чувствительности материала к концентрации напряжений, масштабный фактор (с учетом габаритов натурной конструкции), фактор влияния состояния поверхности. Суммарный коэффициент снижения предела выносливости по методике [6] получен равным $K = 2{,}4$. Таким образом, фактический предел выносливости натурной конструкции составляет σ_{-1} =4,17 ДаН/мм^2 на испытательной базе $N_{-1}= 10^7$ циклов нагружения. Результаты расчета величины ресурса с учетом обычного для рассматриваемых конструкций коэффициента надежности $\eta_{\sigma} = 1{,}5594$ приведены на рисунке 1 (левый верхний график).

Для того чтобы определить предельное значение регулировки конструкции составим диаграмму, комбинированную из графиков. Итоговая комбинированная диаграмма показана на рисунке 7.

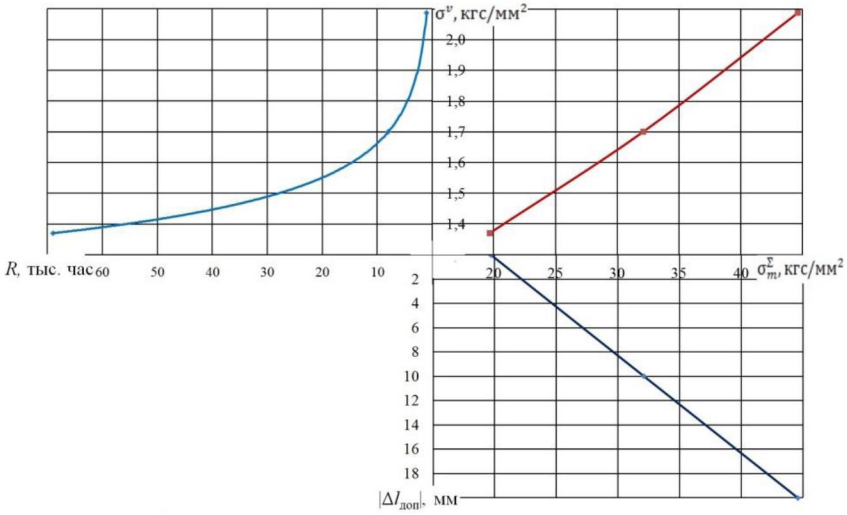


Рис. 1. Диаграмма определения величины ресурса в зависимости от величины регулировки

Как видно из диаграммы рисунка 1, величина напряжений, вызванных регулировкой, значимым образом влияет на расчетный ресурс конструкции. Диапазон расчетного ресурса при этом составляет от 70000 часов до 1000 часов. Очевидно, что на этапе проектирования конструкции необходимо задаться величиной минимального расчетного ресурса, меньше которой эксплуатация изделия становится нецелесообразной. Примем, что для нашего рассматриваемого случая такая величина минимального ресурса составляет 20000 часов. На диаграмме рисунка 1 стрелками показан переход от данной величины ресурса к величине предельного значения регулировочного параметра, которое составляет 5 мм.

Очевидно, что полученная величина предельного значения регулировочного параметра должна быть внесена в конструкторскую документацию как контрольный ответственный параметр.

Таким образом, на рассмотренном примере показан графоаналитический метод определения предельных регулировочных параметров для регулируемых вертолетных конструкций, основанный на применении метода конечных элементов. Применение из-

ложенного метода на этапе проектирования конструкции позволит обоснованно решать задачу выбора предельных параметров регулировки и соответствующим образом обеспечить требуемую долговечность проектируемой конструкции.

Список литературы

1. Неделько Д.В., Шакиров М.З. «Метод повышения надежности регулируемых вертолетных конструкций» // Авиационная промышленность. 2015. № 3. С. 56 – 59.

2. Неделько Д.В., Михайлов С.А., Шакиров М.З. Расчетно-экспериментальный анализ влияния регулировочных параметров на напряженно-деформированное состояние и долговечность регулируемых вертолетных конструкций // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 4. С. 96-103.

3. Одинг И.А. Допускаемые напряжения в машиностроении и циклическая прочность металлов // И.А. Одинг. – Изд. 4-е. испр. и доп. – М.: Машгиз. 1962. 260 с.

4. Михеев Р.А. Прочность вертолетов: Учебник для авиационных специальностей втузов. – М.: Машиностроение. 1984. 280 с.

5. Справочник по авиационным материалам. Издание 5-е. Том II. Цветные сплавы. М.: Машиностроение. 1962. 455 с.

6. Савкин А.Н. Расчеты элементов машин и конструкций на выносливость при переменных нагрузках. Учеб. пособие. Изд-во ВолгГТУ. Волгоград. 1996. 48 с.

METHOD OF DETERMINING THE LIMIT VALUES OF ADJUSTMENTS OF HELICOPTER'S CONSTRUCTIONS FOR SPECIFIED VALUES OF THE RESOURCE VALUE

Shakirov M.

Supervisor: V. Ligai, professor,
D. Nedel'ko, Doctor of technical Sciences, assistant professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Graph analytical method for determining the limit of adjustments for adjustable constructions developed, applicability of this method is shown by the example of construction of additional fuel tank. This method can be applied to other similar constructions with adjustable elements, which adjusting influence on durability and resource of whole construction.

УДК 629.035.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСКА НА СОЗДАВАЕМУЮ ТЯГУ НЕСУЩЕГО ВИНТА

Юсупов Д.М., Гасилов М.С.
Научный руководитель: В.В. Павлов, к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В нижеследующем докладе представлен сравнительный анализ тяги несущего винта без- и с интегрированным дисковым крылом. Исследование тяги выполнялось непосредственно методом CFD моделирования.

Целью проведенной работы является сравнение создаваемых тяг для двух конфигураций несущего винта. Для данного исследования проведено численное моделирование с использованием CFD (Computational Fluid Dynamics) пакета ANSYS Fluent. Рассмотрены две задачи в динамической постановке (функции от времени):

Задача № 1. Моделирование вращения несущего винта диаметром 3 м с угловой скоростью $\omega = 170$ рад/с без набегающего потока (линейная скорость на конце лопасти составила 255 м/с, то есть 0,75 Маха).

Задача № 2. Моделирование вращения несущего винта диаметром 3 м с интегрированным диском диаметром 1,5 м с угловой скоростью $\omega = 170$ рад/с без набегающего потока.

При помощи CAD системы построены две 3D модели для каждой задачи соответственно. Каждая 3D модель состоит из двух частей: 1) статическая внешняя среда, которая при расчетах неподвижна и моделирует течение воздушных масс; 2) динамическая внутренняя среда, которая при расчетах имеет угловую скорость несущего винта и моделирует непосредственно сам винт и течение воздушных масс вблизи него. Принципиальная схема 3D модели изображена на рисунке 1. Внешняя среда представляет собой цилиндр с диаметром основания 30 м и высотой 30 м. Внутренняя среда представляет собой сферу диаметром 8 м с несущим винтом внутри.

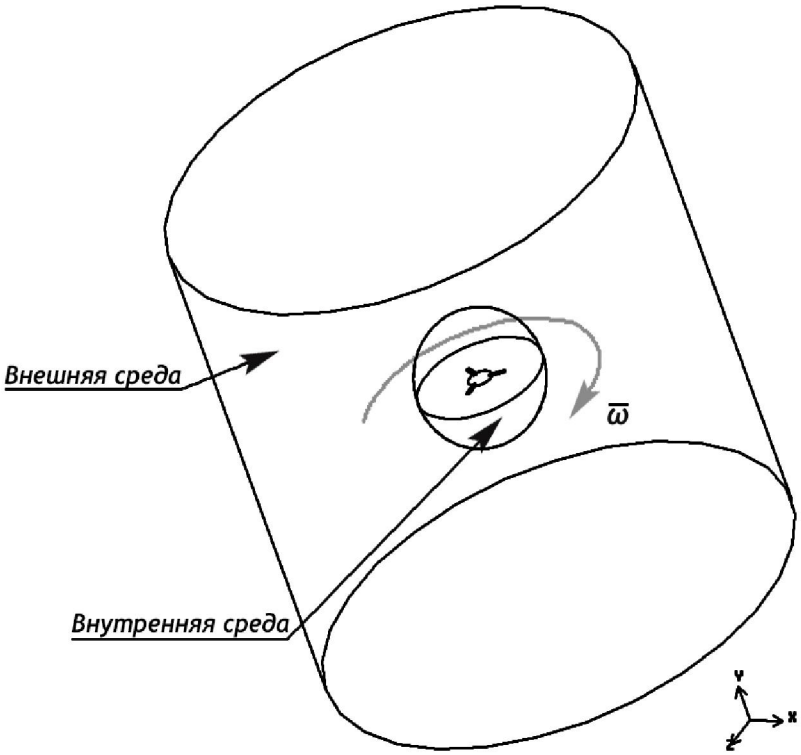


Рис. 1. Принципиальная схема 3D модели

Для данного исследования было построено две неструктурированные полиэдральные расчетные сетки. Построение каждой расчетной сетки происходило в два этапа: 1) построение неструктурированной тетраэдральной сетки в препроцессоре Gambit; 2) конвертация полученной сетки в полиэдральную расчетную сетку непосредственно в среде Fluent. Параметры расчетных сеток представлены в таблице 1. Визуализация расчетных сеток представлена на рисунках 2 и 3.

Таблица 1

Параметры расчетных сеток

Параметры	Сетка для задачи №1	Сетка для задачи №2
Cells	2758779	945740
Nodes	538841	4868575
Max ortho skew	0,7531	0,7983
Min ortho quality	0,1856	0,2017
Aspect ratio	18,165	20,904

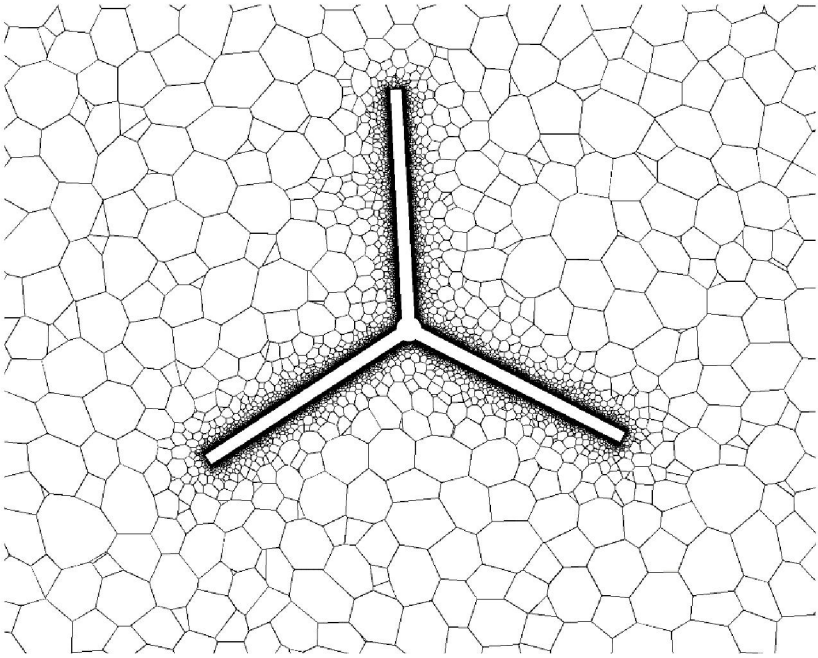


Рис. 2. Расчетная сетка несущего винта для задачи №1. Плоскость вращения

Для обеих задач был выбран решатель, базирующийся на давлении с функцией от времени (динамическая постановка задачи). Модель турбулентности для них выбрана k-ω в вариации transition SST. Параметры атмосферы стандартные для высоты 0 м, согласно ГОСТ 4401-81.

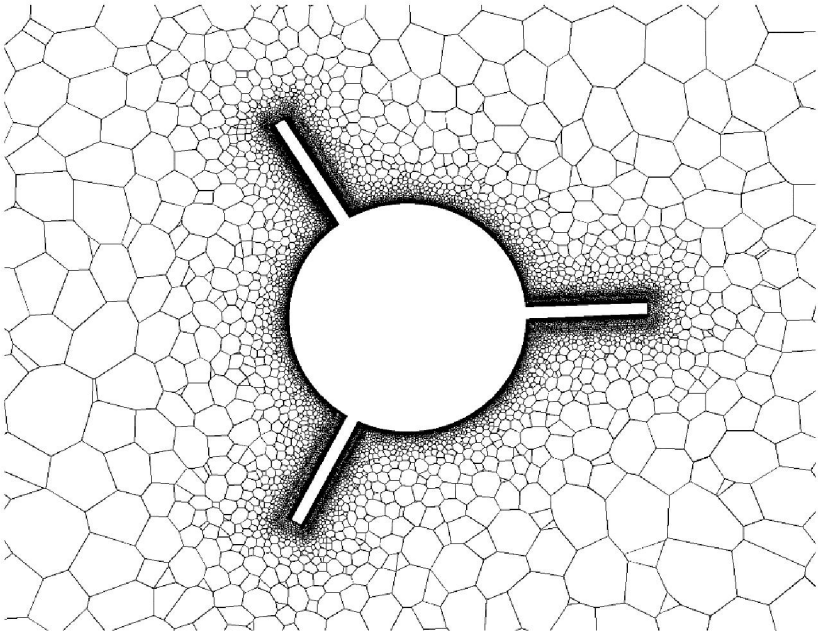


Рис. 3. Расчетная сетка несущего винта
с интегрированным диском для задачи №2. Плоскость вращения

При постановке динамической задачи вращения несущего винта была принята зарекомендовавшая себя модель для задач вращения MRF (Moving Reference Frame). Преимущество модели MRF перед моделью динамического перестроения сетки в существенной экономии расчетных ресурсов без потери приближенности задачи к начальным расчетным условиям.

Размер расчетного временного шага (Time step size) был выбран исходя из возможности подробного просчета физических параметров путем увеличения степени дискретизации. Иными словами, размер временного шага составил 0,0001 с, что соответствует повороту несущего винта на 1° с учетом заданной угловой скорости.

В результате были получены значения тяги для обоих винтов, представленных в таблице 2. Также можно увидеть процесс сходимости параметра тяги на графике (рис. 4) зависимости величины

тяги от количества смоделированных оборотов.

Таблица 2

Результаты расчетов

	Общее промоделированное время, с	Количество смоделированных оборотов	Тяга винта, Н
Винт без диска	0,81	21,9	6736,4
Винт с диском			5380,6

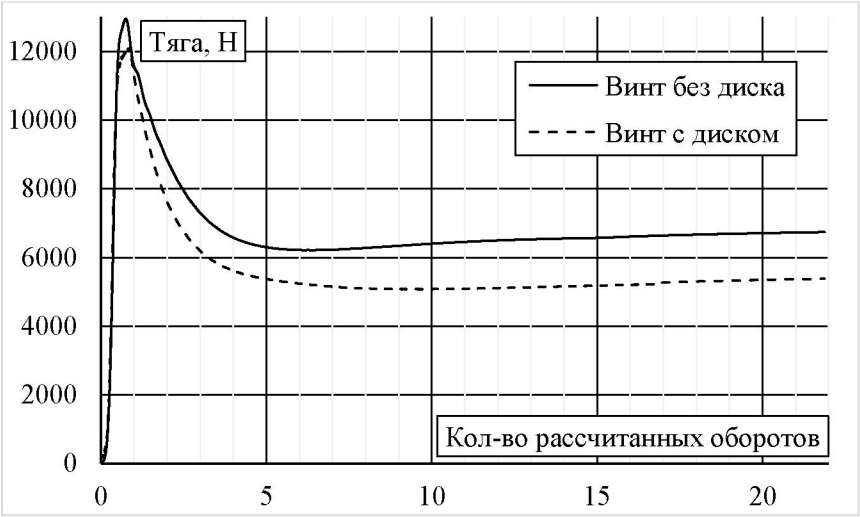


Рис. 4. График изменения тяги винта

Проведенное численное CFD моделирование показало, что тяга, создаваемая несущим винтом с интегрированным диском в среднем на 20 % меньше, чем тяга, создаваемая несущим винтом без диска. Учитывая тот факт, что диск перекрывает половину радиуса несущего винта, его влияние на тягу винта оказалось весьма меньшим ожидаемого.

Список литературы

1. ГОСТ 4401-81. Атмосфера стандартная. Параметры. – Москва: издательство стандартов, 1981. – 181 с.

THE RESEARCH OF DISK INFLUENCE ON MAIN LIFT ROTOR THRUST

Yusupov D., Gasilov M.
Research advisor: V. Pavlov, c.t.s.
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Presented report includes comparative analysis of main lift rotor thrust and disk supported rotor thrust. Thrust research performed directly with CFD method.

УДК 629.7.036.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИН И ЛОПАТОК

Юсупова А.Р., Свежинкина А.В.
Научный руководитель: Р.Х. Макаева, д.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В статье представлены результаты экспериментальных и расчетных исследований микроперемещений в процессе вибраций прямоугольных консольно закрепленных пластин. Применялись методы голографической интерферометрии и конечных элементов. Получены и систематизированы голографические интерферограммы резонансных форм колебаний пластин. Результаты были применены при анализе колебаний рабочих лопаток ГТД.

Голографическая интерферометрия [1] применяется при измерениях микроперемещений, механических вибраций разнообразных элементов конструкций в таких областях как авиастроение, машиностроение.

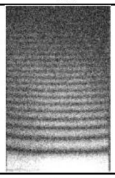
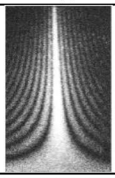
Авиационные газотурбинные двигатели (ГТД) при эксплуатации работают при высоких динамических нагрузках. Наиболее вибронагруженными являются лопатки турбины и компрессора. Важной задачей является отстройка от резонанса. Для этого с помощью голографической интерферометрии определяют их вибрационные характеристики – резонансные (собственные) частоты и формы колебаний [2].

Проводились исследования резонансных частот и форм колебаний прямоугольных консольных пластин постоянной толщины, поскольку они являются прототипами реальных лопаток. При теоретическом анализе применялся метод конечных элементов.

Исследована последовательность появления форм колебаний консольных пластин. Фотографии форм колебаний пластин были получены голографическим методом усреднения по времени.

В табл.1 приведены формы и собственные частоты f колебаний консольной прямоугольной пластины, полученные экспериментальным способом. Форма колебаний пластины обозначалась символом F_{bl} , где b - число узловых линий вдоль ширины пластины, l – число узловых линий вдоль длины пластины.

Таблица 1

b	l			
	0	1	2	3
	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}
1				
	f = 96 Гц	f = 331 Гц	f = 1773 Гц	f = 4439 Гц

Как видно из таблицы с увеличением резонансной частоты увеличивается число узловых линий b и l.

Для аналитических расчетов резонансных частот прямоугольных пластин постоянной толщины использовалась формула

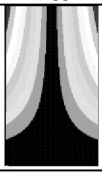
$$f = \frac{\beta}{2\pi l^2}\sqrt{\frac{D}{\rho h}},$$

где β – частотный коэффициент; l, h – длина и толщина пластины; D – изгибная жесткость пластины; E, ρ, μ – модуль продольной упругости, коэффициент Пуассона, плотность материала пластины.

При численных расчетах собственных частот и форм колебаний пластин применялся метод конечных элементов, реализованный программным комплексом ANSYS.

В таблице 2 приведены формы и собственные частоты колебаний прямоугольных пластин, полученные расчетным способом. Заданные при расчетах физические свойства и геометрические параметры соответствуют прямоугольным платинам, исследованным экспериментально (табл. 1).

Таблица 2

b	*l*			
	0	1	2	3
	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}
1				
	f = 103 Гц	f = 347 Гц	f = 1588Гц	f = 4245 Гц

Расхождение в значениях расчетных и экспериментальных частот составило не более 5%.

Полученные результаты, были применены при экспериментальных исследованиях собственных частот и форм колебаний рабочих лопаток компрессора 5 ступени авиационного ГТД. Диапазон исследованных частот и форм колебаний составил 400… 9000 Гц. Деталь крепилась консольно, имитировалось рабочее положение лопатки на двигателе. Изменением частоты переменного сигнала, подаваемого на вибратор, подведённого к исследуемой детали, находились частоты резонансных колебаний и регистрировались голограммы. На рис. 1 представлены голографические интерферограммы нескольких форм колебаний лопатки в исследованном диапазоне частот в последовательности их появления.

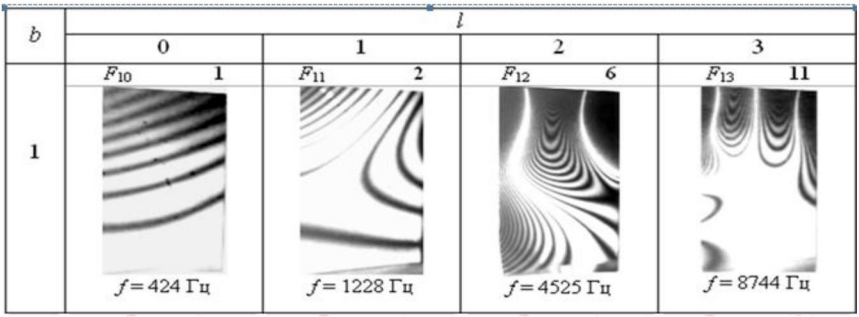


Рис. 1. Спектр резонансных форм и частот колебаний рабочей лопатки компрессора 5 ступени ГТД, полученный экспериментально

Как показывает сравнение с табл. 1, формы колебаний лопатки и прямоугольной пластины идентичны. Некоторое искривление узловых линий можно объяснить закруткой и переменностью сечения пера лопатки.

Знание порядка возникновения той или иной гармоники при резонансных колебаниях консольных пластин и лопаток представляет научный и практический интерес. Уменьшается вероятность пропуска резонансной моды. Визуализированные формы колебаний позволяют спрогнозировать возможные дефекты, которые могут появиться в процессе эксплуатации двигателей.

Список литературы

1. Островский Ю.И., Бутусов М.М., Островская Г.В. Голографическая интерферометрия. М.: Наука, 1977. 339 с.

2. Макаева Р.Х., Каримов А.Х., Царева А.М. Диагностика деталей и узлов турбомашин по их вибрационным характеристикам с применением голографической интерферометрии. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. 2011. 242 с.

THE EXPERIMENTAL-CALCULATED METHOD MEASUREMENTS OF MICRO-DISPLACEMENTS IN VIBRATIONS OF RECTANGULAR PLATES AND BLADES

Yusupova A., Svezhinkina A.

Scientific supervisor: R. Makaeva, Doctor of technical sciences, docent

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The article presents the results of experimental and calculated studies of micro-displacements in the process of vibrations of rectangular cantilevered plates. The methods of holographic interferometry and finite elements was applying. Holographic interferograms of the resonance modes of plate vibration are obtained and systematized. The results were applied in the analysis of vibrations of working blades of GTE.

СЕКЦИЯ 2

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ПОДСЕКЦИЯ 2.1

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.315.592.3

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ И ПАССИВАЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПОДЛОЖЕК

Абдулхаликова К.К.
Научный руководитель: Д.И. Кузнецов, к.т.н, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Разработана новая технология предварительной подготовки кремниевых подложек к технологическим процессам. Технология обеспечивает создание и сохранение чистой поверхности на время технологического процесса.

Микроэлектроника является быстро развивающейся областью техники, задачами которой являются увеличение производительности, быстродействия, памяти. Главной тенденцией развития микроэлектроники является миниатюризации электронных элементов. Число элементов на пластине увеличивается, а их размер становится все меньше, механические загрязнения (частицы) малых размеров оказывают все большее отрицательное влияние на работу приборов. Кремниевые подложки применяются в массовом производстве микроэлектронных, оптических и энергетических изделий. Несмотря на это, создание и сохранение чистой поверхности на время технологического процесса остаются актуальными и сегодня.

«Чистая» поверхность – это поверхность, имеющая незначительное число частиц чужеродного для данной подложки материала [1]. Под чистой поверхностью мы понимаем, поверхность, очищенную от естественного окисла, адсорбированных слоев воды и гидроксильных групп в приповерхностном слое, связанных химической связью. Актуальность проблемы связана с тем, что предварительно очищенные кремниевые подложки неустойчивы к окислению и содержат на поверхности мономолекулярный слой воды, что негативно сказывается на технологическом процессе изготовления интегральных схем [2-3].

Обратимся к известным способам очистки и пассивации, а

именно к очистке воздействием УФ-излучения. Данный способ объединяет быстрое разложение и удаление органических загрязнений воздействием УФ-излучением и удаление образовавшего слоя оксида кремния травлением в водном растворе плавиковой кислоты. На подготовленной таким образом поверхности кремниевой подложки находится моноатомный слой водорода (H), соединенного свободными связями. Данный слой водорода пассивирует поверхность кремниевой подложки.

При решении данной проблемы нами было выяснено что, в результате химической очистки кремниевой подложки используются водные растворы травителей, что приводит к образованию на поверхности кремниевой подложки мономолекулярного слоя воды, который оказывает отрицательное влияние на работу приборов. Получение чистой поверхности достигается за счет использования сочетания химического травления поверхности кремниевой подложки и последующей отмывки поверхности кремниевой подложки в изопропиловом спирте.

Уравнения происходящих процессов:

$$SiO_2 + 4HF = Si + 2F_2 + 2H_2O$$

$$Si + 2F_2 = SiF_4\uparrow$$

$$CH_3CH(OH)CH3 + OH = CH_3CH(OH)CH_2(OH)$$

Сохранение чистой поверхности заключается в защите кремниевой подложки от окисления, в её пассивации. Данная проблемы достигается за счет нанесения на кремниевую подложку плёнку канифоли, которая обеспечивает отсутствие границы раздела фаз кремний-кислород. Структура пленки канифоли является плотной, что не позволяет молекулам кислорода проникать через пленку канифоли к кремнию.

Заключение: Предложено новая технология предварительной подготовки кремниевых подложек к технологическим процессам, обеспечивающая получение чистой и устойчивой к окислению поверхности кремниевой подложки, с отсутствием гидроксильных групп.

Список литературы

1. *Слепцов, В.В.* Исследование процесса предварительной

очистки, полировки и защитной пассивации кремниевых пластин / В.В. Слепцов, И.В. Симакина, В.М. Елинсон, Г.Ф. Ивановский // Вакуумная техника и технология / СПб: Региональная общественная организация Санкт-Петербурга «Научно-техническое университетское вакуумное общество». 1992. Т. 2. № 4. С. 73-74.

2. *Степаненко, И.П.* Основы микроэлектроники: Учеб. Пособие для вузов. // М: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. С. 25–33.

3. *Абдулхаликова, К.К.* Перспективная технология СВЧ подложек применяемых в высокопроизводительных вычислений / К.К. Абдулхаликова, Ф.Х. Вахитов, Д.И. Кузнецов // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2017): труды Международной научно-технической конференции / под ред. С.А. Прохорова. / Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2017. С. 441–443.

TECHNOLOGY CLEANING AND PASSIVATION OF SEMICONDUCTOR SUBSTRATES

Abdulhalikova K.
Supervisor: D. Kuznetsov,
Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

A new technology for preliminary preparation of silicon substrates for technological processes has been developed. The technology provides creation and preservation of a clean surface for the time of the technological process.

УДК 661.666.2

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТАКТИЧЕСКИХ УГЛЕРОДНЫХ ПЕН С ЗАДАННЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Антонов Д.О., Чубуков А.И.
Научный руководитель: Э.Р. Галимов, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Разработаны варианты технологических процессов получения синтактических углеродных пен с различными теплофизическими и физико-химическими свойствами для работы в экстремальных условиях.

Целью работы является разработка технологии получения нового класса композиционных материалов в виде синтактических углеродных пен, теплофизические и физико-химические свойства которых определяются составом и режимными параметрами их получения.

В настоящее время во многих странах мира проводятся исследования, направленные на изучение таких материалов, как пены, получаемых и на основе полимеров (пенопластов), и неорганических материалов, в том числе углерода – углеродные пены. Обычно полимерные пены применяют для теплоизоляции и звукоизоляции, повышения жесткости многослойных конструкций, компенсации тепловых расширений различных материалов, демпфирования вибрационных нагрузок, создания непотопляемых судовых элементов, в особенности, в глубоководном судостроении [1–3].

Синтактические углеродные пены представляют собой перспективные материалы упорядоченной структуры, обладающие рядом уникальных свойств: высокие удельные физико-механические характеристики, регулируемый коэффициент теплопроводности, электропроводность, высокая тепло- и термостойкость, устойчивость к действию агрессивных сред, высокая доступная поверхность, регулируемая удельная поверхность и др.

Специальные виды углеродных и металлических пен используют для теплоотвода в электронике и ракетно-космической технике. В электротехнике на основе пен создают перспективные электроды источников питания, в медицине углеродные пены используют в качестве прорастающей основы при регенерации костных тканей. Используются пены и в разнообразных фильтрующих системах для очистки жидких и газообразных сред. В последнее время возрос интерес к применению пен для обеспечения радиоэкранирования объектов, в частности помещений. Уникальные эксплуатационные свойства синтактических углеродных пен делают эти материалы чрезвычайно интересными для использования во многих других областях.

В работе проведены комплексные исследования по разработке лабораторной технологии получения синтактических углеродных пен различного функционального назначения.

1. Проведен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, публикаций в научных журналах, монографиях и др. в области получения изделий с заданными теплофизическими свойствами для работы в экстремальных условиях. Сформулированы основные понятия, относящиеся к УП, дано определение СУП с точки зрения особенностей их строения, приведено описание характерных для этого класса материалов структурных компонентов. Рассмотрен механизм образования и структура СУП с точки зрения возможных модификаций и особенностей структурных элементов. Приведены важнейшие для практического использования пен эксплуатационные и физические свойства, связанные с особенностями их состава и строения. Подтверждена актуальность разработки технологии получения двух основных классов углеродных пен:

– теплоизолирующих СУП на основе стеклоуглерода, имеющих при кажущейся плотности 0,1-1,0 г/см^3, с пределом прочности при сжатии не менее 1,0 МПа и коэффициентом теплопроводности не более 0,1-0,2 Вт/м·К;

– теплопроводящих СУП на основе графитирующихся, в том числе, мезофазообразующих материалов, имеющих при кажущейся плотности менее 0,6 г/см^3, предел прочности при сжатии не менее

1,0 МПа и коэффициент теплопроводности не менее 150 Вт/м·К.

2. Даны результаты определения возможных вариантов достижения целей (разработки технологий получения теплоизолирующих синтактических углеродных пен на основе стеклоуглерода, теплопроводных синтактических углеродных пен на основе графитирующихся, в том числе, мезофазообразующих материалов, а также изделий на их основе). Проведена сравнительная оценка известных из литературы вариантов технологий получения теплоизолирующих СУП и теплопроводящих СУП, выделены наиболее перспективные технологические схемы, которые предполагается исследовать на последующих этапах проекта. Рассмотрена возможность создания интегрированной технологии для решения комплекса задач по получению как теплоизолирующих СУП на основе стеклоуглерода, так и СУП на основе графитирующихся, в том числе, мезофазообразующих материалов. Представлена возможная технологическая схема, позволяющая получать как теплоизолирующие, так и теплопроводящие СУП на едином комплексе технологического оборудования.

3. Приведено обоснование необходимости проведения экспериментальных исследований, связанной с трудностями прогнозирования свойств УП из-за разнообразия сырьевых материалов, а также существенно различающихся технологических параметров получения: условий смешения и формования, варьирований температур и скоростей термообработки, наличие или отсутствиее давления при карбонизации, наличие порообразователей, возможной поверхностной и объемной модификации, и отсутствия теоретических моделей, позволяющих связать структуру и свойства углеродных пен с их эксплуатационными свойствами.

4. С учётом предшествующих выводов, представлены варианты технологий получения теплоизолирующих и теплопроводящих СУП, предполагаемых к осуществлению в ходе экспериментальной реализации на последующих этапах проекта.

5. Представлены результаты предварительного выбора исходных сырьевых материалов для производства СУП. Для получения теплоизолирующих пен показана целесообразность использования синтетических полимерных связующие (ФФС, ПУ, меламин), которые при карбонизации образуют углерод турбостратной структуры

с малым (10 нм и менее) размером кристаллитов. Ячеистые полимеры сотовой структуры, теоретически пригодные для изготовления СУП методом темплатного синтеза (ПУ, меламин) – доступного и экономически привлекательного способа получения СУП, – отличаются невысоким выходом углеродистого остатка, что может приводить к невысоким физико-механическим свойствам получаемых изделий. С другой стороны, ФФС, отличающиеся высокими выходами углеродистого остатка (до 95 масс. %), требуют применения структурирующих добавок и наполнителей (микросфер) для создания материалов с регулярной пористой структурой. Конкретный выбор исходного сырья, пригодного для изготовления теплоизолирующих материалов с заявленным уровнем свойств, должен быть уточнен на экспериментальном этапе исследований.

Для получения теплопроводящих СУП необходимо использовать сырье, обеспечивающее при термообработке высокую степень графитации. Необходимым условием этого является образование при карбонизации вязкопластичной фазы, примером которой является мезофаза как жидкокристаллическое состояние вещества. Этот факт обусловливает необходимость использования мезофазообразующих пеков (каменноугольных и нефтяных) для получения изделий с высокими значениями коэффициента теплопроводности. Кроме того, для повышения физико-механических свойств и коэффициента теплопроводности СУП возможно использование добавок мезофазных частиц (микросфер), что способно повысить среднюю степень графитации материала.

6. В рамках выполненного патентного исследования «Разработка технологии получения изделий с заданными теплофизическими свойствами для работы в экстремальных условиях на основе синтактических углеродных пен» разрабатываемый объект является перспективным и патентнопригодным. Анализ наиболее значимых изобретений показал, что основные аналоги, наиболее близкие по технической сущности решения, имеют определенные недостатки, которые могут быть устранены в ходе исследовательских работ в объеме данной темы.

7. По материалам, предоставленным иностранным партнёром (Харбинским технологическим институтом), приведены результаты

обоснования целесообразности и востребованности технологии получения изделий с заданными теплофизическими свойствами для работ в экстремальных условиях на основе синтетических смол. Рассмотрены основные области применения СУП среди которых управление тепловыми потоками, создание перспективных источников тока, восстановление дефектов костной ткани, в качестве носителей катализатора и сорбентов, а также применение углеродных пен в оборонной технике, авиации и космосе.

В целом задачи, поставленные на данном этапе работ, выполнены и будут использованы на последующих этапах работ. Особо следует отметить, что результаты работы, выполненные иностранным партнёром, существенно расширяют круг представлений об областях применения СУП, показывают перспективность замены традиционно используемых материалов СУП вследствие высоких технико-экономических показателей. Данная часть работ позволила конкретизировать направленность работ, дала возможность конкретизировать предварительный выбор исходных сырьевых материалов, уточнить требуемые значения эксплуатационных свойств СУП.

Список литературы

1. *Любартович С.А.* Реакционное формование полиуретанов / Любартович С.А., Морозов Ю.Л., Третьяков О.Б. // М.: Химия. 1990. 288 с.

2. *Лебедев Н.Н.* Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза / Лебедев Н.Н. // М.: Химия. 1988. 592 с.

3. *Паушкин Я.М.* Технология нефтехимического синтеза / Паушкин Я.М., Адельсон С.В., Вишнякова Т.П. // М. 1973. 448 с.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF OBTAINING SYNTACTIC CARBON FENGTH WITH SPECIFIED THERMOPHYSICAL PROPERTIES

Antonov D., Chubukov A.
Supervisor: E. Galimov, d.t.s., professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Variants of technological processes for obtaining syntactic carbon foams with various thermophysical and physicochemical properties for working under extreme conditions have been developed.

УДК 678.743.22

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Антонов Д.О., Шарафутдинов Р.Ф.
Научный руководитель: Н.Я. Галимова, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Показана эффективность модификации поливинилхлорида промышленными отходами. Исследован комплекс технологических и эксплуатационных свойств жестких и пластифицированных композиций. Проведена оптимизация составов и свойств композиций.

Целью работы является получение композиционных материалов с заданными свойствами на основе поливинилхлорида и дисперсных наполнителей в виде промышленных отходов.

Поливинилхлорид и чрезвычайно широкий ассортимент композиционных материалов на его основе в виде винипластов, пластикатов, пластизолей, порошковых композиций и др. по объему производства и применения занимают одно из ведущих мест среди крупнотоннажных промышленных полимеров. Доступность сырья и налаженность промышленного производства, возможность получения различных марок ПВХ, особенности надмолекулярной структуры, повышенная способность к модификации, огромная номенклатура применяемых изделий определяют технико-экономическую эффективность применения композиций в различных отраслях производства, в том числе в машиностроении [1–3]. Все без исключения ПВХ композиции являются многокомпонентными системами и могут содержать до десяти и более компонентов, что обусловлено не только потребностями в материалах с различными технологическими и эксплуатационными свойствами, но и специфическими особенностями самого полимера – сравнительно низкая температура начала разложения ПВХ, сложный механизм его термической деструкции и повышенная вязкость расплава. Указанные особенности

обуславливают необходимость использования в рецептурах композиций модифицирующих компонентов в виде стабилизаторов, наполнителей, пластификаторов и других целевых добавок, обеспечивающих повышенную термическую стабильность и перерабатываемость композиций, а также заданные эксплуатационные свойства изделий на их основе.

Модификация представляет собой сложный физико-химический и технологический процесс, базирующийся на таких направлениях современного полимерного материаловедения как механика, физикохимия, физика дисперсных систем, термодинамика и т. п. [3]. Основными факторами, определяющими эффективность модификации, а также свойства материалов на основе ПВХ являются технологическая наследственность, обусловленная сохранением после полимеризации микрогетерогенной глобулярной структуры ПВХ; природа, содержание и соотношение модифицирующих добавок; процессы, протекающие в формующих каналах перерабатывающего оборудования (экструдерах, литьевых машинах, установках нанесения порошковых покрытий и т. п.).

В качестве объектов исследования использовали рецептуры жестких и пластифицированных композиций на основе суспензионного полимера марки ПВХ-С-7059-М (ГОСТ 14332-78), содержащего следующие модифицирующие добавки: двухкомпонентный стабилизатор, органические и минеральные наполнители, различные пластификаторы. Содержание и соотношение модифицирующих добавок меняли в определенных пределах с учетом их совместимости и ряда других факторов.

В качестве стабилизирующей добавки использовали смесь стеарата кальция $(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$ (ТУ 6-09-4104-87) и силиката свинца $PbSiO_3$ (ТУ 6-18-44-77). Стеарат кальция выбран в качестве механохимического стабилизатора, а силикат свинца как добавка, улучшающая термическую стабильность ПВХ композиций. Содержание стабилизаторов составляло по 3 масс. ч. на 100 масс. ч. полимера.

В качестве пластификаторов использовали сложноэфирный пластификатор диоктилфталат (ГОСТ 8728-88) и фосфатный пла-

стификатор трикрезилфосфат (ГОСТ 5728-76), которые представляют собой прозрачные маслянистые высококипящие жидкости (температуры кипения равны соответственно 386°С и 280°С). Содержание пластификаторов в композициях составляло 10, 30, 50, 80 масс. ч.

В качестве органических наполнителей выбраны продукты химической переработки древесного сырья, получаемые по сульфатному способу – щелочной сульфатный лигнин (ЩСЛ), гидролизному способу – гидролизный лигнин (ГЛ). В качестве органических наполнителей использовали также продукты углубленной химической модификации щелочного сульфатного лигнина и гидролизного лигнина [1–3], получаемые изменением их функционального состава путем окисления и хлорирования – щелочной сульфатный лигнин окисленный (ЩСЛО), щелочной сульфатный лигнин хлорированный (ЩСЛХ), гидролизный лигнин окисленный (ГЛО), гидролизный лигнин хлорированный (ГЛХ).

Для получения наполненных композиций использовали отходы производства литья по выплавляемым моделям, состоящие из смесей различных оксидов (алюминия, кремния и др.). Содержание наполнителей в рецептурах ПВХ композиций составляло 1, 3, 5, 10, 20 и 30 масс. ч. Диспергирование выбранных наполнителей проводили на планетарной мельнице «Активатор 2SL», а гранулометрический состав частиц определяли на лазерном микроанализаторе «Analizette-22».

Технология получения образцов ПВХ композиций включала стадии механического смешения исходных порошкообразных (полимер, наполнители, стабилизаторы) и жидких (пластификаторы) компонентов в определенных соотношениях и сочетаниях. Сухое смешение ПВХ с сыпучими модифицирующими добавками (стабилизаторами, наполнителями) проводили на лабораторном смесителе ЛДУ-3 МПР при скорости вращения пропеллерной насадки 500–700 об/мин в течение 5–7 мин.

Смеси пластифицированных композиций предварительно подвергали желатинизации в течение 24 час при температуре 60–80°С. Для получения пластифицированных систем при опреде-

ленном содержании ДОФ или ТКФ (10, 20, 30, 50, 80 масс. ч.) в состав композиций вводили 1, 3, 5, 10, 20, 30 масс. ч. выбранных органических или минеральных наполнителей.

Образцы для испытаний готовили методом термопластикации на лабораторных фрикционных вальцах ЛБ 200 100/100Э при температуре вращающихся валков 160–180°С в течение 5–7 мин в зависимости от типа композиции (жесткие или пластифицированные) до получения однородных и сплошных пленок. Толщина пленок в зависимости от состава композиций и температурно-временных режимов вальцевания менялась в пределах 0,1-0,2 мм. Экструдаты получали путем перевода пленочных образцов в вязкотекучее состояние (повторная термопластикация) в рабочей камере капиллярного вискозиметра с последующим выдавливанием расплавов через капилляр в интервале температур 160–200°С и различных режимах деформирования.

Для исследования структурных превращений, протекающих при модификации ПВХ, использовали современные методы микроскопии. Сканирующую зондовую микроскопию образцов проводили на атомно-силовом микроскопе «ACM Brucker Innova», оптическую микроскопию на микроскопе «Carl Zeiss Axio Imager Z2m», сканирующую электронную микроскопию на рабочей станции «AURIGA CrossBeam». Исследования поперечных срезов экструдатов проводили методом сканирующей зондовой микроскопии. Образцы экструдатов штабиками фиксировали на держателе и покрывали напылением Au-Pd толщиной 30 нм, которые затем устанавливали в камеру микроскопа и проводили анализ при различных режимах [4-5].

Исследования вязкоупругих свойств расплавов проводили на капиллярном вискозиметре постоянных давлений. Механические свойства полимерных композиций определяли при статических и малоцикловых режимах испытаниий на универсальной испытательной машине «Shimadzu AG-50KNX» в соответствии с ГОСТ 14236-81. Диэлектрические свойства определяли при обычной температуре и частоте $1{,}1536 \cdot 10^3$ Гц на диэлектрическом спектрометре «NOVOCONTROL CONCEPT-80».

На основании проведенных комплексных исследований технологических и эксплуатационных свойств жестких и пластифицированных ПВХ композиций получены следующие результаты:

– методами микроскопии исследовано влияние природы, содержания и режимов термопластикации на структурообразование модифицированных ПВХ композиций; показано, что исходная структура ПВХ сохраняется как при первичной, так и повторной термопластикации; с увеличением содержания модифицирующих добавок происходит заполнение межглобулярного пространства и постепенное слияние надмолекулярной структуры за счет эффекта разбавления пластификатором;

– исследовано влияние степени наполнения и пластификации, температуры и режимов деформирования на изменение вязкоупругих свойств ПВХ композиций; установлено, что максимальный эффект изменения вязкостных свойств наблюдается для жестких и малопластифицированных композиций в области содержаний наполнителей (до 15 масс. ч.); с повышением температуры, напряжения сдвига и содержания пластификаторов эффект аномального изменения вязкостных свойств по мере увеличения содержания наполнителей снижается; выявлен экстремальный характер изменения коэффициента разбухания струи ПВХ композиций от содержания модифицирующих добавок;

– выявлены закономерности изменения механических свойств жестких и пластифицированных ПВХ композиций при статических и малоцикловых режимах испытаний; при статических испытаниях жестких и малопластифицированных композиций в области небольших содержаний органических наполнителей (до 10 масс. ч.) проявляется эффект упрочнения, сопровождающийся повышением прочности, модуля упругости и сопротивления усталости на 15–25 %, а при наполнении минеральным наполнителем происходит разупрочнение композиций; с увеличением содержания наполнителей до 30 масс. ч. проявляется эффект упрочнения композиций при наполнении ОЛП;

– для пластифицированных композиций по мере увеличения содержания пластификаторов эффект активного влияния наполни-

телей уменьшается и при высокой степени пластификации наблюдается снижение механических свойств;

– малоцикловые испытания позволили установить, что максимальное изменение величины сопротивления усталости проявляется в области малых содержаний наполнителей; с увеличением содержания пластификаторов и наполнителей наблюдается заметное возрастание величины напряжения, при которой достигается одинаковая долговечность модифицированных композиций (при одинаковых напряжениях долговечность возрастает);

– исследовано влияние модифицирующих добавок на изменение диэлектрической проницаемости, диэлектрических потерь и удельного объемного электросопротивления ПВХ композиций; показано, что характер и интервалы изменения диэлектрических показателей жестких и пластифицированных композиций определяются природой, содержанием и соотношением модифицирующих добавок.

На основании проведенных исследований разработаны научно обоснованные рекомендации, направленные на оптимизацию составов, режимных параметров переработки и применение модифицированных ПВХ композиций для производства изделий различного функционального назначения.

Список литературы

1. *Штаркман Б.П.* Основы разработки термопластичных полимерных материалов. – Н. Новгород: Нижегородский гуманитарный центр, – 2004. – 328 с.

2. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ / Под ред. Ф. Гроссмана. 2-е издание. Пер. с англ. под ред. В.В. Гузеева. – СПб.: Научные основы и технологии, – 2009. – 608 с.

3. *Гузеев В.В.* Структура и свойства наполненного поливинилхлорида. – СПб.: Научные основы и технологии, – 2012. – 284 с.

4. *Галимов Э.Р.* и др. Процессы структурообразования и формирования свойств при модификации поливинилхлорида / Э.Р. Галимов, Н.Я. Галимова, А.М. Мухин, Р.Ф. Шарафутдинов. – Казань: – 2014. – 161 с.

5. *Галимов Э.Р.* и др. Влияние физико-химической модификации на механические свойства ПВХ композиций / Э.Р. Галимов, Р.Ф. Шарафутдинов, А.М. Мухин и др. // Материалы Международной НПК «Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в Российской авиационной и ракетно-космической промышленности». – Казань: – 2014. – С. 237–240.

COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYVINYL CHLORIDE AND INDUSTRIAL WASTE

Antonov D., Sharafutdinov R.
Supervisor: N. Galimova, PhD
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

The effectiveness of the modification of polyvinyl chloride by industrial wastes is shown. The complex of technological and operational properties of rigid and plasticized compositions is investigated. Optimization of compositions and properties of compositions was carried out.

УДК 621.762

ИССЛЕДОВАНИЕ БОРИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ

Астрашаб Е.В., Щербаков В.Г.
Научный руководитель: В.Г. Щербаков
(Белорусский национальный технический университет, г. Минск)

В статье исследована кинетика формирования диффузионных слоев на металлических порошках при борировании в порошковых насыщающих средах. Установлено, что для получения диффузионного слоя толщиной 5…30 мкм диффузионное насыщение необходимо проводить при температурах 700…750 °С.

Борирование – процесс ХТО, при котором происходит диффузионное насыщение поверхностного слоя детали бором. При борировании (одно- и двухфазном) на поверхности образуется слой Fe_2B либо Fe_2B и FeB [1]. Борирование существенно повышает такие характеристики как твердость, износостойкость и коррозионную стойкость. Высокая окалиностойкость (до 800 °С) и теплостойкость. Высокая твердость (16…20 ГПа) сохраняется до 950 °С. Это позволяет работать деталям с высокими механическими и тепловыми нагрузками.

Различают три основных метода борирования [2]: в порошках, в жидких средах, в газовых средах. В свою очередь борирования в порошках по технологическим особенностям различают: в негерметичных контейнерах, в контейнерах с плавкими затворами, в вакууме, в защитных атмосферах, в псевдоожиженных средах, насыщение из паст. Борирование в жидких средах осуществляют в расплавах (солей или оксидов) может быть электролизным или безэлектролизным (жидким) и в растворах электролитов.

Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, как с технологической точки зрения, так и экономической. Метод выбирается в зависимости от условий конкретного производства, типа обрабатываемых деталей (конфигурация, размер) и условиями эксплу-

атации. При массовом производстве несложных средних по размерам деталей рекомендуется использовать электролизное и газовое борирование, при упрочнении мелких и сложных по форме деталей целесообразно, применение жидкого или порошкового методов борирования, крупногабаритные детали, а также в случае местного упрочнения рационально использовать борирование из паст [2].

Для получения нужных и стабильных свойств детали необходимо контролировать и управлять процессом обработки. Следует заметить, что чем более все автоматизировано и минимизировано ручной труд в процессе, тем более стабильные свойства. Результаты борирования зависят во многом от типа и условий насыщающей среды. После борирования изменяются не только свойства поверхностных слоев упрочненных деталей, но и их свойства в целом. На прочность борированных деталей влияют метод и режим насыщения, соотношения толщины борированного слоя и толщины всей детали, размеры и форм деталей и т. п.

Повышение содержания в стали углерода снижает твердость FeB и практически не влияет на твердость Fe_2B. Вносят свое влияние на твердость боридного слоя и легирующие элементы но особых закономерностей нет.

Однофазное борирование (толщина слоя до 150 мкм) на 20…50 % увеличивает усталостную прочность конструкционных сталей, а двухфазное — уменьшает. Основным преимуществом борированных деталей является их высокая износостойкость в различных условиях эксплуатации (трении скольжения, абразивном и гидрообразивном изнашивании). На износостойкость борированных деталей в условиях значительных нагрузок заметное влияние оказывает структура и твердость переходной зоны. В этом случае закалка и отпуск борированных деталей благотворно влияют на их износостойкость. Стойкость детали после борирования увеличивается в 2…10 раз [2].

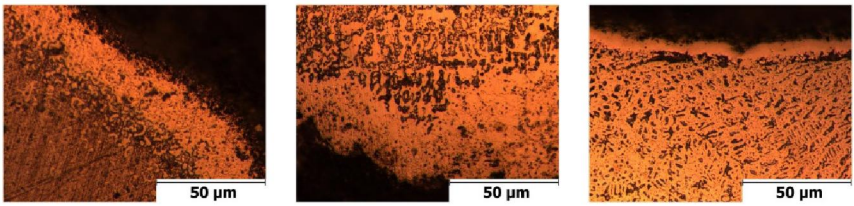
Главным недостатком борирования является хрупкость полученного слоя. Наиболее хрупкая фаза FeB, по этому стараются преимущественно получить формирование Fe_2B. В различных источниках отмечается, что этому способствует понижение температуры

диффузионного насыщения, корректировка состава ванн, использование твердого борирования в атмосфере водорода. Так же снижения хрупкости добиваются нахождением оптимальной толщины диффузионного слоя для определенного химического состава. В свою очередь толщина слоя зависит в основном от температуры и продолжительности технологического процесса.

Отдельно стоит отметить особенности диффузионного легирования (ДЛ) микрообъектов [3]. Основным классификационным признаком является степень легированности полученного порошка. Эффективным является более широкое использование дисперсных металлоотходов в качестве сырья для ДЛ-процессов [3]. Традиционно при борировании стараются получать максимальные толщины диффузионных слоев (150…300 мкм). Однако, получение максимальной толщины диффузионного слоя при борировании не всегда является целесообразным. В отдельных случаях на обрабатываемой детали достаточно наличие диффузионного слоя небольшой толщины (до 10…40 мкм). А наличие диффузионного слоя большей толщины лишь снизит эксплуатационные свойства обрабатываемого материала.

Целью данной работы являлось исследование кинетики роста диффузионных слоев на углеродистых сплавах при низкотемпературном однофазном борировании в порошковых средах.

Проводилось однофазное борирование в порошковых средах, разработанных сотрудниками НИЛ упрочнения стальных изделий Белорусского национального технического университета [4] стальной, чугунной и из нержавеющего сплава колотой дроби фракцией 315…630 мкм (Рис. 1). Температура обработки составляла 750 ^{0}C, время выдержки – 4 часа. Толщина полученных диффузионных слоев составляет 5…30 мкм, микротвердость существенно зависит от степени легированности насыщаемого материала и находится в диапазоне 8…15 ГПа. Микротвердость основы после диффузионного легирования составляет порядка 4…6 ГПа.



а) дробь колотая стальная | б) дробь колотая чугунная | в) дробь из нержавеющего сплава

Рисунок 1 – Однофазное борирование микрообъектов, 750°С, 4 часа

Полученный однофазный диффузионный поверхностный слой имеет микротвердость в 1,5…2,5 раза выше микротвердости основы, что придает значительно лучшую износостойкость. Таким образом, низкотемпературное борирование в порошковых насыщающих средах позволяет регулировать температурно-временными параметрами насыщения и достаточно точно формировать диффузионные слои заданной толщины на обрабатываемых материалах. Для повышения толщины диффузионного слоя на обрабатываемом материале достаточно повышать температуру процесса, а для снижения толщины образовавшегося диффузионного слоя стоит сократить продолжительность процесса, либо снизить температуру насыщения.

Список литературы

1. *Лабунец В.Ф.* Износостойкие боридные покрытия / В.Ф. Лабунец, Л.Г. Ворошнин, М.В. Киндрачук. – К.: Тэхника, 1989. – 158 с.

2. *Ляхович Л.С., Ворошнин Л.Г., Панич Г.Г.* Борировние сталей в расплавленных средах // МиТОМ, 1969.

3. *Ворошнин Л.Г.* Состояние и перспективы диффузионного легирования микрообъектов / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов // Перспективы развития поверхностного и объемного упрочнения сплавов: сборник научных трудов, посвященный 40-летию кафедры «Материаловедение в машиностроении» / под ред. Ворошнина Л.Г; БНТУ. – Минск, 2004. –

С. 106–114.

4. Термодиффузионная поверхностная обработка [Электронный ресурс] / Борирование – режим доступа: http://www.besto.by/vidy-obrabotok/borirovanie – Дата доступа 10.05.2017.

INVESTIGATION OF METALLIC POWDERS WITH IRON BASIS SUBJECTED TO BORIDING PROCESSES

Astrashab E., Scsherbakou V.
Supervisor: V. Scsherbakou
(*Belarusian National Technical University, Minsk*)

The article reveals the investigation concerning the kinetics of the diffusion layers formation on metal powders subjected to boriding treatment in powder saturating mixtures. It was established that diffusion saturation must be carried out at temperatures of 700...750 °C to obtain a diffusion layer of 5…30 μm.

УДК 678.046

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОРПУСА САМОЛЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ «EDUPACK»

Бобыкин В.В.
Научный руководитель: А.В. Черноглазова,
канд. техн. наук, доцент
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Особое внимание уделено использованию программы «EduPack» при выборе материала для корпуса самолета.

При решении задачи по выбору материала корпуса самолета была использована программа «EduPack», которая содержит большую базу данных и позволяет найти информацию о материалах, о его свойствах, производителях и стоимости на мировом рынке. Данный программный продукт предоставлен кафедре Материаловедения, сварки и производственной безопасности в образовательных целях в рамках проекта TEMPUS MMATENG для интеграции КНИТУ-КАИ в европейскую систему образования Болонского процесса.

С помощью программы «EduPack» построили диаграмму свойств материалов (рис. 1). Данная пузырьковая диаграмма позволяет извлекать данные для изучения закономерностей. Диаграмма зависимости модуля упругости и плотности, показывает, что каждый вид материалов занимает определенную область диаграммы: металлы – в правом верхнем углу, ячеистые материалы – в левом нижнем углу, эластомеры – внизу ближе к центру и т.д.

Диаграмма зависимости модуля упругости от плотности материалов позволила выбрать алюминиевые сплавы, титановые сплавы и CFRP – углепластик с эпоксидной матрицей.

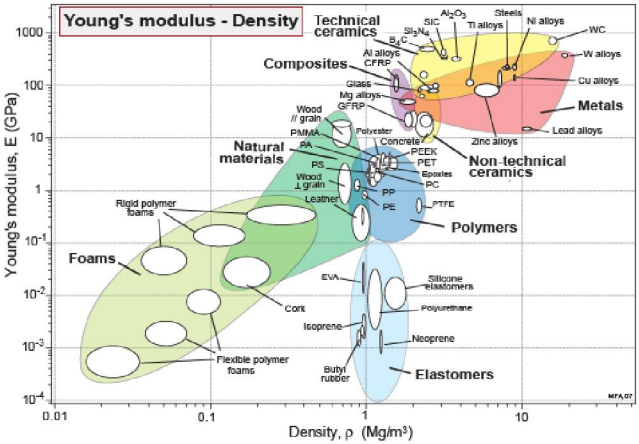


Рис. 1. Зависимость модуля упругости от плотности материалов

Анализ свойств материалов, позволил выбрать алюминиевые сплавы, титановые сплавы и CFRP – углепластик с эпоксидной матрицей. При сравнении материалов по пределу прочности (рис. 2) (свыше 400МПа) и плотности нами был выбран CFRP т.к., плотность алюминиевых и титановых сплавов по сравнению с композитом на полимерной матрице очень высокая.

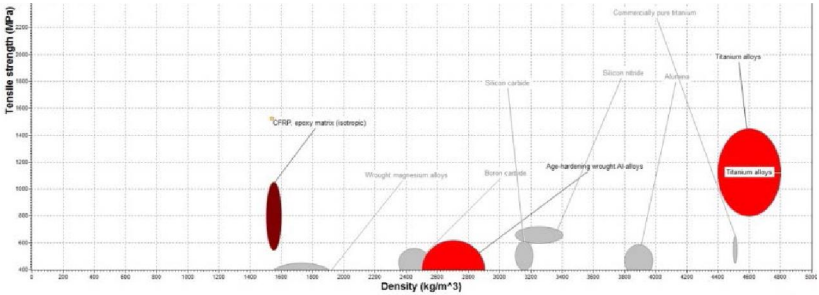


Рис. 2. Зависимость предела прочности от плотности материалов

Минимальную рабочую температуру выбираем в интервале от -50 до -100°С, т.к. учитывается температура в полетных слоях атмосферы.

Дальнейший анализ свойств CFRP показал (рис. 3–5), что углепластик с эпоксидной матрицей выдерживает отрицательные температуры до -100 ºС.

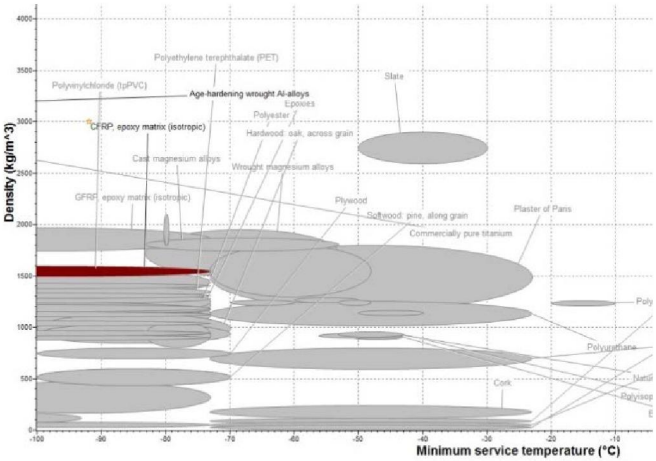


Рис. 3. Зависимость плотности (кг/м^3)
от минимальной рабочей температуры (ºС)

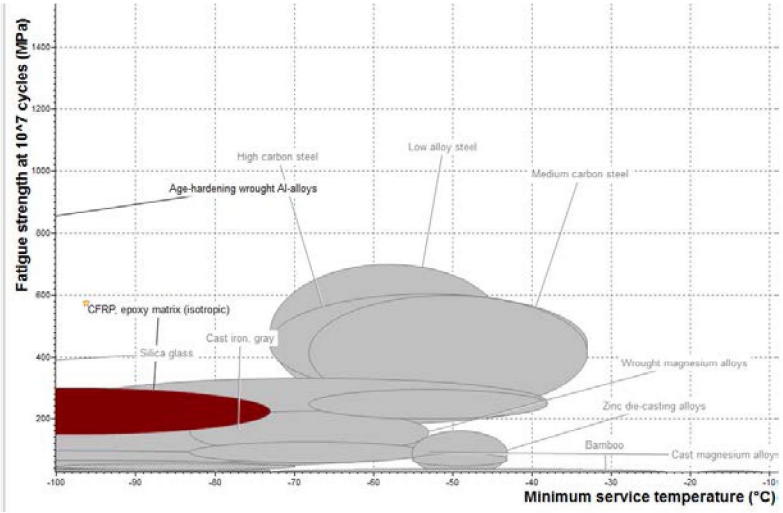


Рис. 4. Зависимость длительной прочности (МПа)

от минимальной рабочей температуры (°C)

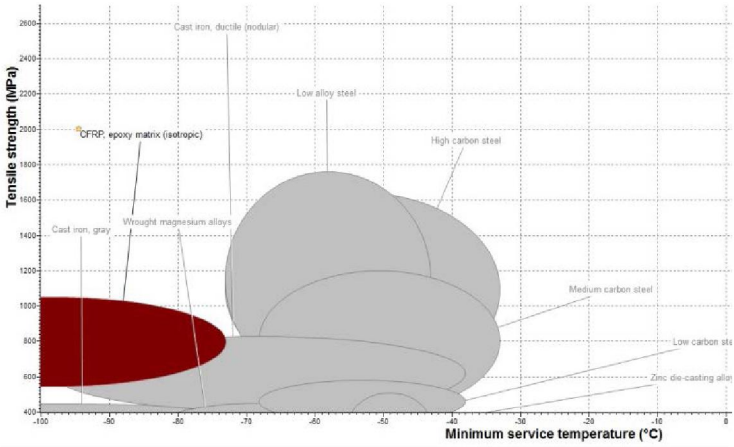


Рис. 5. Зависимость предела прочности (МПа) от минимальной рабочей температуры (°C)

CFRP имеет максимальную 140-250°C и минимальную рабочую температуру -73,2 до -123°C, длительную прочность (выносливость) 150-300 МПа, твердость по Виккерсу 10,8-21,5 HV, ударную вязкость 6,12-20 МПа.

Механические свойства композита зависят от геометрических характеристик и материала, т.е. от выбора матрицы и типа волокна, материала, от выбранного направления волокон композита. Например, при добавлении углерода или кевларовых нитей предел прочности очень сильно увеличивается, уменьшается плотность. Влияние окружающей среды на композит так же не проходит без следа, влажность, длительное использование вызывают износ. Однако процесс производства можно удешивить процесс, используя материалы с более короткими волокнами.

Так же следует отметить, что при повреждении материала предел прочности сильно падает, а обнаружить и исправить повреждения крайне трудно.

Широкое применение в авиастроительной промышленности композиционных материалов (углепластиков) требует применения

титана (рис. 6), т.к. он намного лучше алюминия соединяется с КМ и на 60 % увеличивает жизнь летательных аппаратов. К высокой прочности добавляется и свойство незначительных деформаций при температурных изменениях, что повышает размерную стабильность конструкций.

Рис. 6. Сравнение применения титановых сплавов в конструкциях ЛА по отношению к другим материалам в процентах

Известно, например, что американский истребитель F22 состоит из титана на 39 %, российский истребитель 5го поколения Т50 – на 25 %, бомбардировщик – ракетоносец ТУ160 на 38 %.

Масса самого большого пассажирского самолета в мире Аэробуса А380 – на 14 % состоит из титана, а новейшего Боинга В 787 – уже на 18 %. Если говорить об отечественных самолетах, то можно отметить, что семейство реактивных пассажирских самолетов Ан148, содержит 13 % титана, а лайнер Sukhoi Superjet 100 – 5 %.

SELECTING MATERIAL FOR THE AIRCRAFT CABINET WITH THE USE OF THE EDUPACK PROGRAM

Bobykin V.

Supervisor: A.V. Chernoglazova, Degree and Title
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Particular attention is paid to the use of the program "EduPack" when choosing the material for the hull of the aircraft.

УДК 669.295'24:620.17

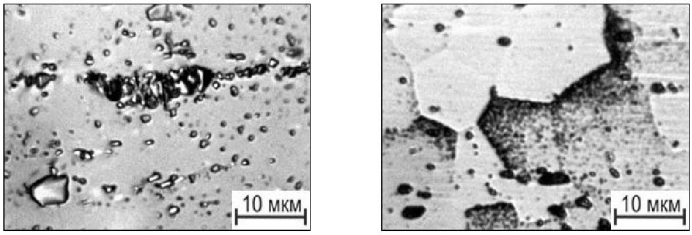
ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЗМА ДЕФОРМАЦИИ НА МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА

Борисов А.А., Сперанский К.А., Юдаев С.В.
Научный руководитель: Д.Е. Гусев, к.т.н., профессор
(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Изучение механического поведения сплавов на основе никедила титана, обладающими эффектами памяти формы, зависящих от закономерностей влияния механизмов деформации при различных условиях испытаний, является актуальной проблемой в современном материаловедении, имеющей важное практическое значение для многих производственных отраслей. Поэтому необходимо подробно исследовать влияние не только химического состава, но также структуру и механизмы деформации сплавов на основе никелида титана с эффектом памяти формы.

В работе исследование микроструктуры подразделялось на две стадии: сначала шлифы подвергали только полированию и исследовали размер, морфологию и объемную долю интерметаллидных частиц, а затем после травления оценивали структурное состояние B2-матрицы. Это связано с тем, что из-за разных химических свойств фаз, при изготовлении микрошлифов межфазная граница B2/Ti_2Ni быстро вытравливается и частицы интерметаллида хорошо различимы уже после этапа электрополировки. Для выявления структуры B2-фазы необходимо дополнительное травление, при котором размывается контур частиц Ti_2Ni, либо частицы вытравливаются из матрицы полностью, в результате чего затрудняется объективная оценка размера и количества частиц интерметаллида. Проведенные исследования показали, что в образцах из первой партии наблюдается большая объемная доля интерметаллида Ti_2Ni, который представлен равноосными частицами размером от 0,1 мкм до 17 мкм, неоднородно распределенными по сечению образцов (рис. 1 а). Проведенная количественная оценка показала, что в этой

партии материала объемная доля интерметаллида составляла порядка 20 %.



а) б)

Рис. 1. Микроструктура образцов сплава № 1
а) после полировки; б) после травления

На следующем этапе работы было исследовано влияние условий деформации на характеристики эффекта запоминания формы. Кривые зависимости напряжений τ от деформации кручением γ характеризуются наличием двух точек перегиба, связанных с изменением механизма формоизменения. Напряжение, которому соответствует первая точка перегиба, принято называть напряжением мартенситного сдвига. При достижении этой величины формоизменение материала протекает по механизмам мартенситного превращения и двойникования, причем относительно небольшой рост напряжений вызывает значительное увеличение деформации. Второй перегиб связан с затруднением протекания мартенситного превращения и двойникования и реализацией формоизменения материала, преимущественно, по механизму скольжения.

После деформации образцы нагревали и определяли величину невосстановленной деформации. Величина наведенной деформации, после которой появляется недовосстановленние формы, является важной характеристикой, которую следует использовать при анализе работоспособности конструкций. При этом важно учитывать зависимость этой характеристики от температуры. В настоящей работе было предложено в качестве предельно-допустимой критической величины деформации использовать степень наведенной деформации, которой соответствует невосстановленная деформация, равная 0,2 %.

Величина критической степени деформации определяется соотношением напряжений мартенситного превращения и напряжений, при которых в матрице сплава начинают развиваться процессы скольжения. Поэтому по кривым деформации определяется уровень критических напряжений, соответствующих величине критической деформации.

В мартенситном состоянии величина критических напряжений, соответствующих критической степени деформации выше, чем в высокотемпературном состоянии. Поэтому с увеличением температуры испытаний величина критической степени деформации уменьшается. В сплаве богатом никелем объемная доля упрочняющих матрицу интерметаллидов больше. Поэтому в этом сплаве уровень критических напряжений значительно выше.

Затем было исследовано влияние степени наведенной деформации на величину невосстановленной деформации образцов после различных режимов отжига. С увеличением наведенной деформации наблюдается накопление невосстановленной деформации. Критической степенью деформации принято считать величину наведенной деформации ($\gamma_{кр1}^{0,2}$), превышение которой приводит к появлению невосстановленной деформации более 0,2 %. Критическая степень деформации увеличивается с повышением температуры отжига, что связано с увеличением размера частиц богатых никелем интерметаллидов и изменением их морфологии.

По данным металлографического и рентгеноструктурного анализа фазовый состав образцов сплава № 2 при отжигах в интервале 300-800°С не меняется, а температуры восстановления формы ($А_н^в$ = 38°С; $А_к^в$ = 46°С) остаются с точностью ±1°С постоянными. Это означает, что выделения богатых никелем интерметаллидов типа Ti_3Ni_4 и Ti_2Ni_3 в этих образцах не происходит, и все изменения его свойств определяются только процессами полигонизации и рекристаллизации, происходящими при отжиге и, соответственно, их влиянием на развитие мартенситного превращения и скольжения при нагружении. В образцах в исходном состоянии, характеризующихся высокой концентрацией дефектов кристаллического строения, развитие мартенситного превращения под действием внешних

напряжений затруднено из-за сложности движения межфазной границы в искаженной кристаллической решетке. Это приводит к росту предела текучести, который для материалов с ЭЗФ определяется напряжениями мартенситного превращения, и значительному наклону кривой последующего нагружения (рис. 1).

В соответствии с указанными выше структурными превращениями меняются и характеристики ЭЗФ сплава ТН1 № 2 (таблица 1). Максимальные критические напряжения наблюдаются у образцов в исходном состоянии. Наибольшая критическая деформация характерна для образцов, отожженных при 550°С и имеющих рекристаллизованную структуру. Связь критических напряжений, при которых в материале образцов накапливается не восстановленная деформация, со структурным состоянием образцов обусловлена тем, что их величина определяется напряжениями скольжения в В2-фазе. Поэтому по мере снижения дефектности кристаллической решетки В2-фазы и устранения ее деформационного упрочнения в процессе полигонизации и рекристаллизации $\tau_{кр}$ уменьшаются.

Критическая степень деформации, кроме кристаллографических особенностей мартенситного перехода зависит от соотношения напряжений, вызывающих мартенситное превращение, и напряжений, вызывающих скольжение в материале. В образцах с рекристаллизованной структурой минимальный уровень напряжений мартенситного превращения и наименьший угол наклона кривой нагружения приводит к тому, что напряжения скольжения достигаются при больших деформациях, чем в образцах с деформированной структурой.

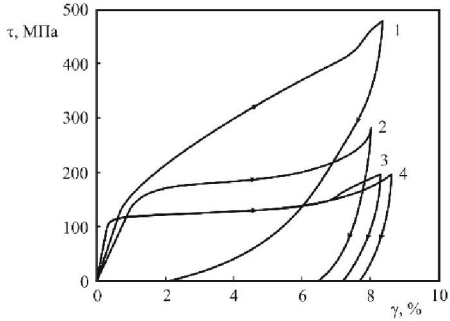


Рис. 1. Влияние температуры отжига на зависимость касательных напряжений от наведенной степени деформации сплава ТН1 плавки № 2 в исходном состоянии (1) и после отжигов при температурах 450 (2), 550 (3) и 800 °С (4)

Таблица 1

№ п/п	Температура отжига	Характеристики				
		$\tau_{0,2}$; МПа	$\tau_{кр}$; МПа	$\gamma_{кр}$; %	$А_н^в$; °С	$А_к^в$; °С
1	-	160	420	7,5	34	46
2	450	150	280	8	37	46
3	500	150	250	8	36	45
4	550	110	200	8,5	38	46
5	800	110	200	9	35	44

Для образцов ТН1 сплава № 3, характер изменения структуры и свойств от температуры отжига значительного отличается. Это в первую очередь отражается в сильной зависимости температур восстановления формы от температуры отжига. Так если после отжига при 400°С образцы имеют $А_н^в = 10°С$ и $А_к^в = 23°С$, то при 500°С они увеличиваются до 36°С и 45°С, соответственно, а после отжига при 800°С снижаются до $А_н^в = -5°С$ и $А_к^в = 1°С$. Это связано с тем, что при отжиге в интервале температур 400-500°С в образцах сплава № 3 протекают процессы выделения богатых никелем интерметаллидов (Ti_3Ni_4 и Ti_2Ni_3), что вызывает обогащение В2-фазы титаном, а соответственно, повышение температур ее мартенситного превращения. При температурах отжига выше 500°С происходит растворение частиц богатых никелем интерметаллидов, что обогащает В2-фазу никелем и снижает температуры превращения, а соответственно, и температуры восстановления формы.

Помимо выделения и растворения частиц Ti_3Ni_4 и Ti_2Ni_3 в образцах сплава № 3 протекают процессы полигонизации и рекристаллизации. Необходимо отметить, что в данных образцах эти процессы протекают более медленно и при более высоких (на 50°С) температурах по сравнению с образцами сплава № 2, возможно, это связано с тем, что выделение богатых никелем интерметаллидов в первую очередь происходит на дефектах кристаллического строения, что

снижает их избыточную энергию и термодинамический стимул превращения. Такие особенности формирования структуры в образцах сплава № 3 отражаются на их механическом поведении (рис. 2) и характеристиках ЭЗФ, таблица 2 Образцы в исходном состоянии обладают полной сверхупругостью (до 8 %), высоким уровнем предела текучести и относительно небольшим углом наклона кривой последующего нагружения. После отжига при температурах 450 и 500°С предел текучести и напряжения превращения снижаются, но остаются несколько выше по сравнению с образцами сплава № 2. При этом сверхупругость при нормальной температуре сменяется накоплением остаточной деформации, устраняемой при последующем нагреве. Отжиг при температуре 550 °С и выше приводит к росту предела текучести и проявлению сверхупругости. Однако величина $\tau_{0,2}$ меньше, чем у образцов в исходном состоянии, а сверхупругость при деформации на 8 % полностью не реализуется. Остаточная деформация, не устраняемая последующим нагревом, свидетельствует о развитии в образцах с рекристаллизованной структурой процессов скольжения при деформации до 8 %. деформации на 8 % полностью не реализуется. Остаточная деформация, не устраняемая последующим нагревом, свидетельствует о развитии в образцах с рекристаллизованной структурой процессов скольжения при деформации до 8 %.

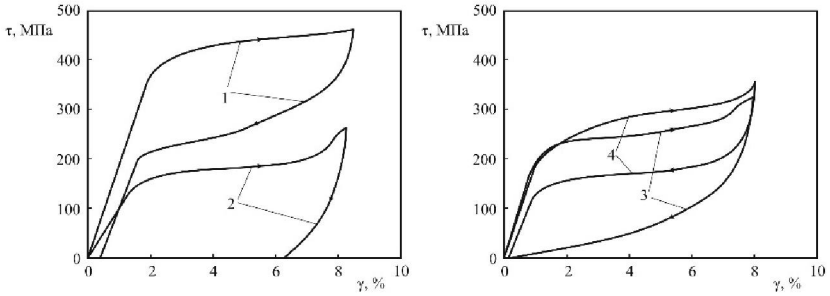


Рис. 2. Влияние температуры отжига на зависимость касательных напряжений от наведенной степени деформации сплава № 3 ТН1 в исходном состоянии (1) и после отжигов при температурах 450 (2), 550 (3) и 800 °С (4)

Таблица 2

№ п/п	Температура отжига	Характеристики				
		$\tau_{0,2}$; МПа	$\tau_{кр}$; МПа	$\gamma_{кр}$; %	$A_н^в$; °С	$A_к^в$; °С
1	-	380	460	8	6	21
2	450	160	250	8	20	33
3	500	170	260	8,5	36	45
4	550	210	310	7,5	18	26
5	800	210	320	7,5	-5	1

INFLUENCE OF THE MECHANISM OF DEFORMATION ON MECHANICAL BEHAVIOR OF ALLOYS BASED ON TITANIUM NICLIDE

Borisov A., Speranskii K., Yudaev S.
Supervisor: D. Gusev, Candidate of Engineering Sciences, Professor
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

The study of the mechanical behavior of titanium-nickel-based alloys with shape memory effects that depend on the regularities that affect deformation under various test conditions is an actual problem in modern materials science, which is of great practical importance for many manufacturing industries. Therefore, it is necessary to study in detail the influence of not only the chemical composition, but also the structure and mechanisms of deformation of alloys based on titanium nickelide with shape memory effect.

УДК 621.9.047.7

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ БИПОЛЯРНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РАВНОМЕРНОСТЬ ПОЛИРОВАНИЯ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ

Будницкий А.С., Янович В.А.
(Белорусский национальный технический университет, г. Минск)

Качество поверхности является одним из важнейших факторов, определяющих эксплуатационные характеристики изделий современного машино- и приборостроения, изделий медицинской техники. Разработка высокоэффективных процессов повышения качества поверхности металлических изделий, обеспечивающих высокую производительность при низких энергозатратах, является актуальной технологической задачей современной промышленности.

На сегодняшний день для полировки большинства изделий используется электрохимическое полирование, которое является наиболее прогрессивным технологическими процессами повышения качества поверхности, несмотря на то, что используется в промышленности на протяжении многих десятилетий.

Для устранения существующих недостатков процесса ЭХП и расширения его технологических возможностей нами был предложен способ обработки с применением одно- и биполярных электрических импульсов. По результатам исследований способа разработаны принципиально новые процессы импульсной электрохимической обработки с длительностью импульсов 0,2–20,0 мс, обеспечивающие снижение энергетических затрат на процесс полирования и очистки поверхностей по сравнению обработкой при постоянном токе. Разработан ряд универсальных электролитов для электрохимического полирования алюминия и его сплавов, не содержащих соединений хрома (VI), позволяющих снизить экологическую опасность процесса.

В работе приводятся результаты экспериментальных исследо-

ваний влияния электрических режимов, параметров и видов импульсов на эффективность и равномерность электрохимической полировки коррозионностойкой стали.

Исследования влияния бестоковой паузы между положительным и отрицательным импульсами и плотности тока на параметры съема металла, шероховатости и блеска обработанной поверхности, а также равномерности этих параметров по поверхности образца проводились при следующих действующих факторах:

– амплитудная плотность тока положительных импульсов – 1,00 и 1,66 А/см^2;

– период следования импульсов – 3,5 мс, 7 мс и 21 мс;

– длительность импульсов Та, Тк – 500 мкс;

– бестоковые паузы между импульсами Так – 500, 1000, 1500, 2000 и 3000 мкс, между импульсами Тка – 3000, 2000, 1500, 1000 и 500 мкс соответственно (рисунок 1);

– отношение амплитуд отрицательного и положительного импульсов – 33 %;

– коэффициент заполнения – 17,5 %.

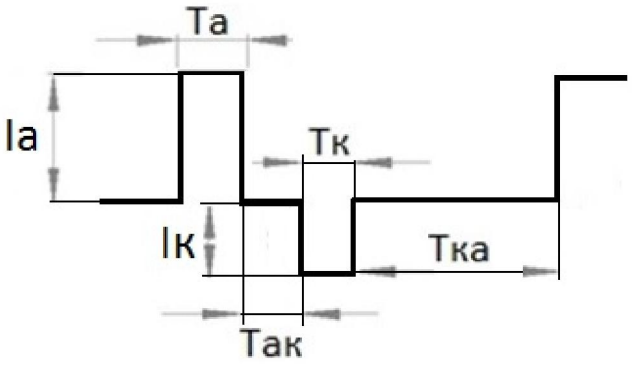


Рис. 1. Диаграмма воздействующих импульсов

В качестве образцов для исследований использовались пластины размером 50x15x1 мм из коррозионностойкой стали AISI 304, площадь образцов – 15 см^2. Для исследований использовался элек-

тролит следующего состава: H_3PO_4 – 714 г/л, H_2SO_4 – 284 г/л, этиленгликоль $C_2H_4(OH)_2$ – 284 г/л, H_2O – 72 г/л. Температура электролита находилась в пределах 32±5°С; Продолжительность обработки всех образцов составляла 5 мин.

Измерение шероховатости поверхности образцов до и после обработки производилось профилометром MarSurf PS1. Измерение массы проводилась аналитическими весами Ohaus PA214C. Контроль и запись формы импульсов тока осуществлялись запоминающим цифровым осциллографом С8-46/1 (рисунок 2). Измерение блеска проводилось на оригинальном приборе ИБП-2.

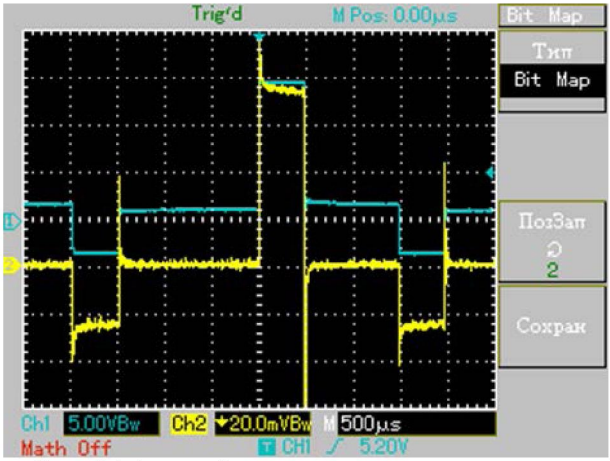
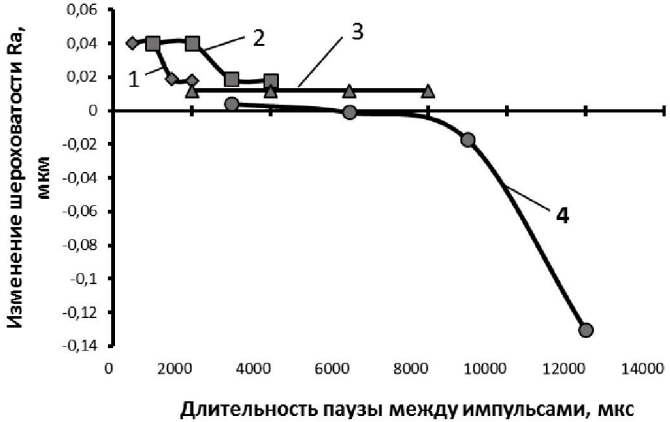


Рис. 2. Пример формы импульсов напряжения, формируемых в процессе обработки коррозионностойкой стали (верхняя линия осциллограммы – напряжение, нижняя – ток нагрузки)

Ниже, на рисунке 3, представлен график зависимости изменения шероховатости образца из нержавеющей стали от длительности паузы между импульсами при плотности тока 1,6 А/см^2.



1 – длительность импульса 500 мкс, 2 – длительность импульса 1000 мкс, 3 – длительность импульса 2000 мкс, 4 – длительность импульса 3000 мкс

Рис. 3. График зависимости изменения шероховатости от длительности импульса и длительности бестоковой паузы между положительным и отрицательным импульсами при плотности тока 1,6 А/см^2

По графику можно отметить, что при низкой длительности паузы между импульсами (до 2000 мкс) наблюдается существенное изменение шероховатости (до 35 %). Увеличение длительности паузы между импульсами до 8000 мкс, при длительности самого импульса 2000 мкс, ведёт к уменьшению значения изменения шероховатости более чем в 2 раза, а при дальнейшем увеличении длительности паузы между импульсами (до 13000 мкс) процесс полировки прекращается.

На рисунке 4 изображён график зависимости изменения блеска поверхности образца из нержавеющей стали от длительности бестоковой паузы между положительным и отрицательным импульсами.

1 – длительность импульса 500 мкс, 2 – длительность импульса 1000 мкс, 3 – длительность импульса 2000 мкс, 4 – длительность импульса 3000 мкс

Рис. 4. Графики зависимости изменения блеска от длительности импульса и длительности бестоковой паузы между импульсами при плотности тока 1,6 А/см^2

По представленной зависимости видно, что достижение существенного изменения блеска поверхности наблюдается так же при более низком значении длительности между импульсами, однако, в отличии от изменения шероховатости, изменение блеска принимает свои максимальные значение в диапазоне от 2000 до 6000 мкс и достигает 35–40 %. При увеличении длительности импульса от 500 до 3000 максимальное значение изменения блеска поверхности так же соответствует большему значению длительности паузы между импульсами.

По результатам проведенных исследований установлено, что съём материала образца зависит от длительности паузы между спадом положительного и фронтом отрицательного импульсов. Значительное влияние также оказывает амплитудная плотность тока обработки. При плотности тока 1 А/см^2 наблюдается наибольшее увеличение съема (до 1,82 мг/см^2), при длительности импульсов около 2000 мкс и длительности паузы 8000 мкс. Наименьший съем

(1,55 мг/см^2) наблюдается при длительности импульсов 1000 мкс и длительности паузы 2000 мкс.

Кроме того, установлено, что съём материала повышается на 100 % а блеск на 40 % при повышении плотности тока с 1,0 до 1,66 А/ см^2 и увеличении длительности положительных импульсов с 500 до 2000–3000 мкс и длительности паузы с 500 до 3000–8000 мкс, однако при этом равномерность показателей параметров шероховатости и блеска уменьшается, а повышение длительности паузы до 12000 мкс приводит к резкому снижению блеска и росту шероховатости.

На рисунке 5 изображены образцы из коррозионностойкой стали после обработки.

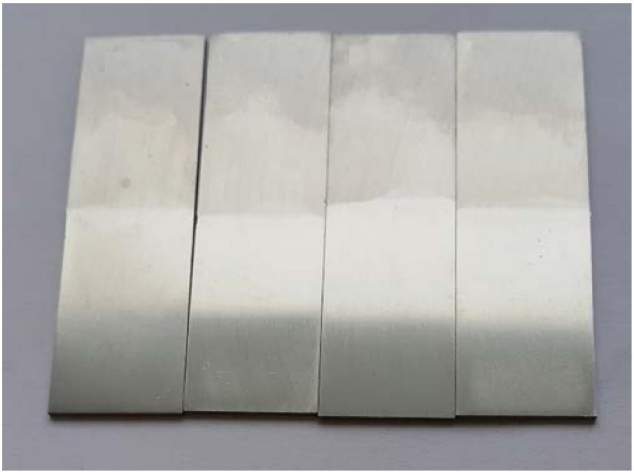


Рис. 5. Изображение образцов после обработки

Заключение. Проведённые исследования подтвердили влияние электрических режимов на эффективность и качество биполярной импульсной электрохимической обработки коррозионностойкой стали. Для определения более точных режимов, способствующих высокой эффективности обработки и качеству поверхности необходимо более подробное изучение влияния каждого параметра в отдельности.

THE INFLUENCE OF ELECTRIC MODES OF THE BIPOLAR PULSE ELECTROCHEMICAL MACHINING EFFICIENCY AND THE UNIFORMITY OF POLISHING OF CORROSION RESISTANT STEELS

Budnitskii S., Yanovich V.
(Belarusian national technical University, the city of Minsk)

Surface quality is one of the most important factors determining operational specifications of the products of modern engineering and instrumentation, medical equipment. The development of highly efficient processes for improving the surface quality of metal products, providing high performance with low energy consumption, is a relevant technological problem of modern industry.

УДК 535.5

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Вагизов Т.Н., Валеева А.Р., Фаткуллин А.Р.
Научный руководитель: Н.Я. Галимова, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Разработаны варианты технологических процессов получения световозвращающих покрытий с использованием полимерных порошковых композиций и световозвращающих элементов в виде микросфер и микропризм. Проведены комплексные исследования основных оптических характеристик покрытий.

Целью работы является разработка технологии получения световозвращающих покрытий с заданными оптическими характеристиками. Световозвращающие поверхности характеризуются способностью возвращать поток света, падающий на них, обратно в направлении источника света. В настоящее время достаточно полно изучены процессы формирования световозвращающих поверхностей. Решение указанной задачи сводится, как правило, к расчёту и выбору геометрии элементов микрорельефа рабочей поверхности световозвращающего изделия. Эффективность световозвращения поверхности, в основном, определяется ее конструктивными и оптическими характеристиками, а также характеристиками самого источника излучения [1, 2]. Для формирования покрытий со световозвращающим эффектом используются световозвращающие элементы двух типов: микросферических шаровых и «уголковых» (призматических) световозвращателей. При производстве покрытий в качестве световозвращающих элементов используются стеклянные микросферы и уголковые световозвращатели, получаемые в результате реализации сложной технологии нарезки дифракционных решеток.

Световозвращающие элементы (СВЭ) – это устройства, позволяющие получать поток излучения в обратном направлении по отношению к излучению, падающему на них. Часто их изготавливают в виде многослойных световозвращающих пленочных покрытий (СВП) [1, 2]. Наиболее широкое распространение получили СВЭ в виде триппель-призм (катафоты, уголковые призмы, уголковые отражатели) и микросфер, изготавливаемых из полимеров или неорганических стекол. Триппель-призмы – это призмы, изготовленные так, что их грани располагаются другу к другу под углом 90°. Свет трижды отражаясь от граней, возвращается обратно по отношению к падающему лучу [3–7]. Взаимно перпендикулярные грани триппель-призмы могут быть изготовлены без покрытия, и тогда свет отражается от этих граней за счет полного внутреннего отражения.

В приближении трехкратного отражения в работе рассчитана индикатриса рассеяния сферы. Алгоритм расчета состоял в определении интенсивностей и направления распространения в передней полусфере падающих на сферу параллельных лучей, испытывающих многократное отражение внутри сферы. Расчет производился по формулам Френеля и определялась индикатриса рассеяния (ИР) шара в виде зависимости интенсивности рассеянного луча от угла относительно направления падающих лучей (рис. 1). Алгоритм был реализован в математическом пакете MathCad.

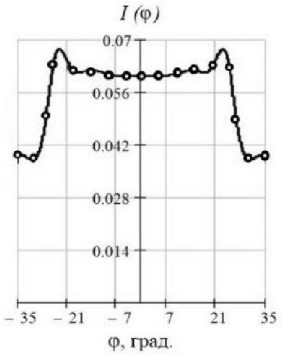


Рис. 1. Изменение индикатрисы рассеяния шарика СВП:
$I(\varphi)$ – интенсивность отраженных лучей, φ – угол распространения лучей (точки – расчет, кривая – интерполяция)

Видно, что полуширина ИР увеличивается, если разность показателей преломления шарика и окружающей среды уменьшается. Выравнивание вершины ИР обусловлено тем, что в распределение интенсивности отраженного пучка с краю индикатрисы дают вклад выходящие пучки, которые отклоняются к оси падающего пучка.

Рассмотрено формирование индикатрисы рассеяния излучения в геометро-оптическом приближении для многослойных СВП при различных расположениях микросферических световозвращателей относительно друг друга на поверхности покрытия (рис. 2).

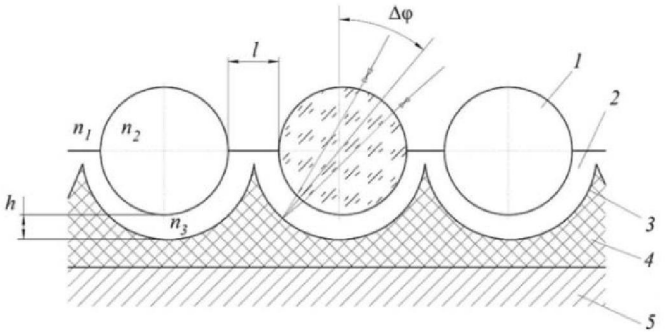


Рис. 2. Схема СВП: *1* – шарик, *2* – промежуточный слой, *3* – отражающий слой, *4* – связующий слой, *5* – подложка, n_1, n_2, n_3 – показатели преломления сред, *l* – расстояние между шариками, *h* – толщина промежуточного слоя, $\Delta\varphi$ – рабочий угол СВП

Выполнение данной работы предусматривает теоретическое обоснование и экспериментальное исследование индикатрис отражения образцов, полученных двумя технологическими способами, позволяющими обеспечить повышение эффективности световозвращающих свойств покрытия. Предполагается, что путем подбора соответствующих показателей преломления микросферических светоотражающих элементов и их окружающей среды, в данном случае фокусирующего слоя с отражающей поверхностью и конструктивных размеров этой среды, имеется возможность создать структуру с максимальным световозвращающим эффектом падающего потока

света в широком угловом диапазоне.

На рисунках 3 и 4 представлены варианты разработанных структур СВП. При этом решалась так же задача обеспечения монослоя микросферических элементов в связующем слое с показателем преломления, равным показателю преломления материала микросфер.

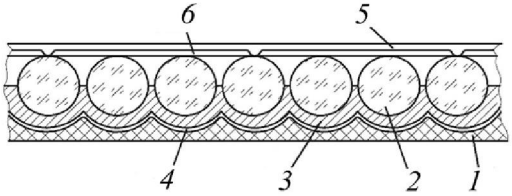


Рис. 3. Структура световозвращающего покрытия (вариант 1):
1 – связующий слой, *2* – микросферический световозвращатель,
3 – катодиоптрический фокусирующий слой, *4* – отражающая
поверхность, *5* – светопринимающий верхний слой,
6 – ячейки с воздушной прослойкой

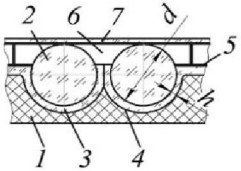


Рис. 4. Структура световозвращающего покрытия (вариант 2):
1 – опорный слой, *2* – микросферический световозвращатель,
3 – катодиоптрический фокусирующий слой, *4* – отражающая
поверхность, *5* – герметизирующий слой, *6* – ячейки с воздушной
прослойкой, *7* – светопропускающий верхний слой

Видно, что напыление микросферических элементов в электростатическом поле обеспечивает более равномерное и более плотное распределение по поверхности. Шар в приближении лучевой оптики описывается как оптическая линзовая система с заданными радиусом поверхности r, показателями преломления окружающей среды и шара (n_1, n_2, n_3) и характеризуется также параксиальными

параметрами: фокусным расстоянием f' и задним фокальным отрезком $S'_{F'}$.

На рисунке 5 приведены измеренные зависимости максимума ИР от угла падения для 3 типов образцов.

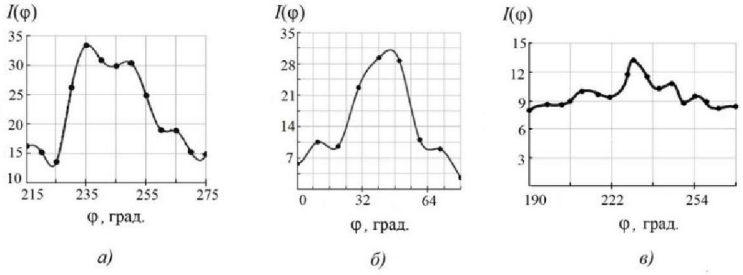


Рис. 5. Зависимости максимума ИР образцов от угла падения: *а*) с плотной упаковкой шариков, *б*) и *в*) с расстоянием между рядами шариков соответственно 5 и 11 мм

Видно, что угловая полуширина изменения максимума ИР увеличивается при увеличении расстояния между рядами шариков. Таким образом при проектировании покрытия необходимо находить компромисс между требуемым рабочим углом отражения покрытия и величиной коэффициента отражения. При экспериментальном исследовании индикатрисы рассеяния при угле падения $\alpha = 25^{\circ}$ проявился эффект световозвращения падающего излучения (рис. 6) [7].

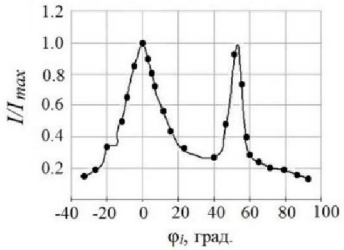


Рис. 6. Пример индикатрисы отражения СВП при угле падения 25°(отсчет углов от направления зеркального отражения), правый максимум

соответствует индикатрисе обратного отражения

На рисунке максимум индикатрисы обратного отражения соответствует направлению падения освещающего пучка. Полуширина индикатрисы обратного отражения составляет примерно 10^{o}. На ИР появляется второй максимум, соответствующий зеркальному отражению.

Список литературы

1. *Старовойтов Е.И., Савчук Д.В.* Исследование и оптимизация применения уголковых отражателей для локации космических объектов // Космическая техника и технологии. 2013. № 1, С. 38–43.

2. *Троицкий А.И., Хомаза В.Ф.* О возможности применения световозвращающих пленок для оптической локации объектов на полигонных испытаниях. Оптико-электронные системы визуализации изображений / Сборник статей под ред. В.В. Тарасова и Н.Г. Якушенкова. Вып. 2. Издательство «Алтей и К», 2007, – С. 194–206.

3. *Солимено С., Крозиньяни Б., Ди Порто П.* Дифракция и волноводное распространение излучения. Пер. с англ. – М.: 1989, 664 с.

4. *Борн М.В., Вольф Э.* Основы оптики / Пер. с англ. – М.: Наука. 1970, 885 с.

5. *Родионов С.А.* Основы оптики. Конспект лекций. ИТМО, – СПб.: 2000, 167 с.

6. *Беляков Ю.М., Галимов Э.Р., Пряхин Ю.А., Тукбаев Э.Е.* Оптическая модель световозвращателей с микросферическими отражателями / Известия ВУЗов. Проблемы энергетики, № 5-6, 2007, – С. 129–133.

7. *Пряхин Ю.А., Сабитов Р.С.* Исследование эффекта экранирования на индикатрису отражения световозвращающих покрытий с микросферами. Материалы XI Международной конференции «Прикладная оптика-2014». 2014. Ч. 3. С. 114–116.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR RECEIVING LIGHT-RISE COATINGS AND INVESTIGATION OF THEIR OPTICAL PROPERTIES

Vagizov T., Valeeva A., Fatkullin A.
Supervisor: N. Galimova, PhD
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Variants of technological processes for obtaining retroreflective coatings using polymer powder compositions and retroreflective elements in the form of microspheres and microprisms have been developed. Complex investigations of the main optical characteristics of coatings were carried out.

УДК 535.5

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОВОЗВРАЩЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЗ СТЕКЛЯННЫХ МИКРОСФЕР

Вагизов Т.Н., Валеева А.Р., Шаяхметов А.А.
Научный руководитель: Н.Я. Галимова, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Разработаны варианты технологических процессов получения световозвращающих покрытий с использованием полимерных порошковых композиций и световозвращающих элементов в виде микросфер и микропризм. Проведены комплексные исследования основных оптических характеристик покрытий.

Микросферические световозвращающие элементы, применяемые для производства световозвращающих плёнок, представляют собой стеклянные шарики из натриевоборосиликатного стекла с показателем преломления n = 1,47-1,51. За рубежом микросферы производят специально для изготовления световозвращающих плёнок. В РФ рядом промышленных предприятий стеклянные микросферы также изготавливаются, которые находят применение как наполнители при нанесении дорожных разметок, при производстве теплозащитных материалов и т. п.

Выше отмечалось, что основной оптическим показателем световозвращающих покрытий считается коэффициент световозвращения, характеризующий отношение интенсивности потока возвращённого от поверхности света к интенсивности потока света, падающего на данную поверхность. Другим важным показателем является коэффициент яркости световозвращающей поверхности, который характеризуется отношением яркости рассеивающей поверхности материала к яркости абсолютно белой матовой поверхности (эталон), находящейся в тех же условиях освещения.

Формирование световозвращающих поверхностей сводится к

решению ряда оптических и технологических задач. В первую очередь, при формировании покрытий с микросферическими элементами, необходимо оценить оптические свойства стеклянных микросфер, качество их производства, типы материалов из которых они изготавливаются. При оценке качества световозвращателей устанавливается дефектность формы микросферических элементов: наличие эллиптичности, вкрапление воздушных пузырьков в шарике, отклонение от прозрачности [1, 2].

В данной работе предлагается метод измерения величины световозвращения отдельных стеклянных микрошариков. Для измерения световозвращательной способности и размерного состава микросфер в контрольных пробах разработан прибор, схема которого приведена на рисунке 1.

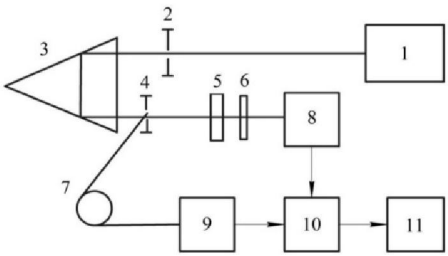


Рис. 1. Схема экспериментального измерительного прибора:
1 – полупроводниковый лазер, 2 – диафрагма, 3 – поворотная призма, 4 – щелевая диафрагма, 5 – оптическая кювета, 6 – фотоприёмник, 7 – волоконно-оптический жгут, 8 – усилитель, 9 – фотоэлектронный умножитель, 10 – микропроцессорное устройство, 11 – компьютер

В начале микроскопическим анализом осуществлялся отбор микросфер для оценки их пригодности при изготовлении образцов. На основании расчетов хода лучей, используя законы геометрической оптики, определен размерный ряд микросфер – 42, 50, 70 и 100 мкм. Для каждого ряда микросфер экспериментально отрабатывались технологические приемы равномерного их размещения на поверхности образца. Следует отметить, что нанесение микросфер с размерами 70 и 100 мкм на поверхность связующего слоя затруднено вследствие большой массы и отскока их от поверхности. При

проведении исследований использовались различные технологические приемы упаковки микросфер на связующем слое для оценки степени влияния расположения микросфер на оптические показатели покрытий. По нашему мнению, для микросфер размером 70 мкм наиболее оптимальной является квадратная ячейка площадью примерно 9 мм^2.

Измерение оптических характеристик покрытий, полученных образцов с использованием различных отражающих слоев проводилось на специально разработанной установке в лаборатории оптических измерений КНИТУ-КАИ.

Схема установки приведена на рисунке 2. Методика измерения состоит в том, что исследуемый образец 2 устанавливается на поворотном столике с угловым отсчетом 3. На столике закрепляется штанга 4, на которую устанавливается осветитель 1. Путем поворота столика обеспечивается изменение угла направления отраженного светового потока (при неподвижных фотоприемных частях установки).

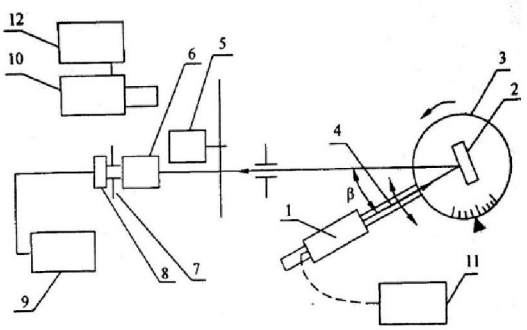


Рис. 2. Схема установки для измерения индикатрис отражения покрытий: 1 – осветитель (лазерный диод, лампа накаливания с коллиматором); 2 – образец отражения; 3 – поворотный столик с угловым отсчетом; 4 – штанга осветителя; 5 – электромеханический модулятор; 6 – бленда; 7 – диафрагма; 8 – фотоприемник (светодиод, фотометр ФПЧ-1); 9 – широкополосный усилитель У2-8; 10 – фотометр ФПЧ-1; 11 – блок питания; 12 – блок измерения фотометра

Угол поворота отсчитывается с точностью 0,3°. Направление

падения пучка света от осветителей меняется в диапазоне $\pm 45^{\circ}$, точность отсчета $\pm 2^{\circ}$. По ходу оптического луча устанавливается электромеханический модулятор 5 (угловая частота 200-400 Гц), затем диафрагма 7 и фотоприемники 8.

В качестве фотоприемника используется фотометр ФПЧ-1. Усилитель 9 в виде широкополосного усилителя У2-8 обеспечивает измерение сигнала фотоприемника 8. При использовании фотометра 10 ФПЧ-1 индикация величины сигнала осуществляется с помощью блока измерения 12. Расстояние от осветителей до образцов составляет $l_1 \approx 600$ мм, расстояние от образца 2 до фотоприемника *8* - $l_2 \approx$ 80-1000 мм. Длина волны излучения лазерного диода $8\lambda = 640$ нм. Отсчет углов осуществляется с шагом $2{,}5^{\circ}$. Полученные данные заносятся в таблицу и обрабатываются на компьютере. Точность измерения сигнала, соответствующего световому потоку – случайная погрешность $\pm$ 3%, погрешность при измерении сигнала от i_{max} (i – ток фотоприемника) до 0,1 i_{max} составляла менее 15 %. Размеры диафрагмы фотоприемника составляют d20 и d5 мм, что соответствует плоским углам наблюдения (угловое разрешение системы) $1{,}3^{\circ}$ и $0{,}32^{\circ}$.

Для проведения оптических измерений выбраны световозвращающие образцы с маркировкой № 1, № 2 и № 3, отличающиеся способом изготовления.

Образец № 1 изготовлен из алюминиевой фольги с подслоем клея, нанесённого производителем. На клеевой слой в электростатическом поле напылялись стеклянные микросферы с удалением излишек для формирования монослойной упаковки. Образец № 2 состоит из отражающего слоя на основе диэлектрического фольгированного лавсана, на котором закапсулированы микросферы дисперсностью 70 мкм. Для образца № 3 в качестве отражающего слоя использовалась лавсановая фольгированная пленка, на которой определенным образом располагались стеклянные микросферы размером 50 мкм.

Для сравнения измерялись также оптические характеристики плёнки инженерного типа фирмы «3М» с использованием стеклянных микросфер. Графики изменения индикатрис отражения иссле-

дованных образцов представлены на рисунке 7. Проводились измерения оптических свойств СВП, полученных по различным технологиям, которые содержат опорный световоотражающий слой с клеевым покрытием, на который наносились в один слой регулярный по поверхности стеклянные микросферы. Сверху этот слой скреплялся защитной полимерной пленкой. В качестве опорного слоя в экспериментах использовались алюминированная фольга и фольгированный лавсан. Клеевое покрытие толщиной приблизительно 45 мкм наносилось валковым способом. Микросферы предварительно калибровались по дисперсности в следующий ряд: 45, 50, 70 и 100 мкм. Показатели преломления защитной пленки и стеклянных микросфер $n = 1{,}51$. Экспериментальные значения ИР представлены на рисунке 3.

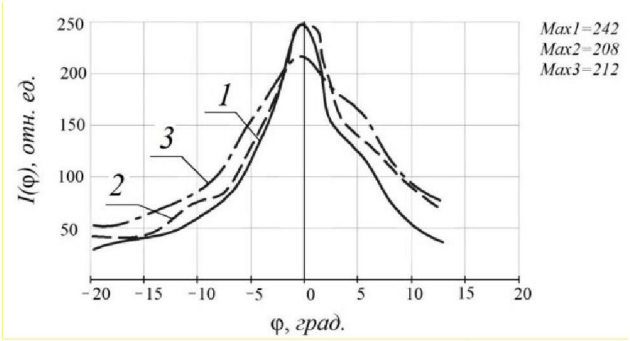


Рис. 3. Индикатриса рассеяния образцов:
I (φ) интенсивность в направлении рассеяния, φ – угол рассеяния

На рисунке 3 кривая *1* – ИР световозвращающей пленки «алмазного типа» фирмы «3М» (этот тип световозвращающих пленок основан на использовании в качестве СВ элементов реплик скрещенных рельефных нарезных дифракционных решеток), максимум ИО здесь 242 отн. ед. Кривая 2 – ИО световозвращающей белой пленки «инженерного типа» фирмы «3М», максимум ИО 212 отн. ед. Следует отметить, что полуширины ИР различных по конструкции СВП довольно близки друг к другу. Экспериментальная кривая 3 соответ-

ствует ИО разработанного в лабораторных условиях светоотражающего покрытия. Измерения индикатрисы рассеяния образцов новыми способами формирования СВП проводились на специальной установке.

При этом СВП изготавливались из отечественных материалов по оригинальной технологии. Максимум отражения этого покрытия близок к максимуму отражения пленки фирмы «3М» при приблизительно той же величине допустимых углов наблюдения, определяемых, например, полушириной ИР.

Список литературы

1. *Старовойтов Е.И., Савчук Д.В.* Исследование и оптимизация применения уголковых отражателей для локации космических объектов // Космическая техника и технологии. 2013. № 1, С. 38–43.

2. *Троицкий А.И., Хомаза В.Ф.* О возможности применения световозвращающих пленок для оптической локации объектов на полигонных испытаниях. Оптико-электронные системы визуализации изображений / Сборник статей под ред. В.В. Тарасова и Н.Г. Якушенкова. Вып. 2. Издательство «Алтей и К», 2007, – С. 194–206.

3. *Солимено С., Крозиньяни Б., Ди Порто П.* Дифракция и волноводное распространение излучения. Пер. с англ. – М.: 1989, 664 с.

4. *Борн М.В., Вольф Э.* Основы оптики / Пер. с англ. – М.: Наука. 1970, 885 с.

5. *Родионов С.А.* Основы оптики. Конспект лекций. ИТМО, – СПб.: 2000, 167 с.

6. *Беляков Ю.М., Галимов Э.Р., Пряхин Ю.А., Тукбаев Э.Е.* Оптическая модель световозвращателей с микросферическими отражателями / Известия ВУЗов. Проблемы энергетики, № 5-6, 2007, – С. 129–133.

7. *Пряхин Ю.А., Сабитов Р.С.* Исследование эффекта экранирования на индикатрису отражения световозвращающих покрытий с микросферами. Материалы XI Международной конференции «Прикладная оптика-2014». 2014. Ч. 3. С. 114–116.

METHODS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF LIGHT-REDUCING COATINGS FROM GLASS MICROSFER

Vagizov T., Valeeva A., Shayakhmetov A.
Supervisor: N. Galimova, PhD
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Variants of technological processes for obtaining retroreflective coatings using polymer powder compositions and retroreflective elements in the form of microspheres and microprisms have been developed. Complex investigations of the main optical characteristics of coatings were carried out.

УДК 67.03

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОРПУСА КОНТАКТНОГО СОЕДИНИТЕЛЯ. РЕШЕНИЕ КЕЙС-ЗАДАЧ В КУРСЕ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

Валиев А.Р., Драницина Е.А.
Научный руководитель: Ф.Н. Куртаева, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Основной целью изучения дисциплин профессионального цикла является формирование у будущих, бакалавров технологического мышления на основе знания технологических процессов производства материалов и покрытий, а также основ их проектирования. В исследовательской работе и при решении практических задач необходимо осуществлять выбор материалов. Для решения подобных задач студентам предлагается использовать разработанные методические указания к лабораторной работе «Решение практических задач по выбору материала с точки зрения ресурсоэффективности с использованием программы CES EDU PACK» авторов Ф.Н. Куртаевой, Т.А. Ильинковой, А.В. Черноглазовой, М.А. Клабукова.

С применением предлагаемой методики решена задача поиска эффективных материалов для замены традиционных для изготовления корпуса контактного соединителя, применяющегося в радиоэлектронной и радиотехнической аппаратуре как соединитель общего назначения.

Условия работы и действующие нагрузки на деталь определялись исходя из назначения детали. Соединители повышенной контактности прямоугольные предназначены для работы в электрических цепях постоянного, переменного (частотой – не более 3 МГц) и импульсного токов. Были выделены граничные величины характеристик условий эксплуатации.

1. Сопротивление контактов не более 10 мОм.

2. Емкость между любыми контактами не должна превышать 2,5 пФ.

3. Сопротивление изоляции в нормальных климатических условиях 1000 МОм.

4. Рабочий ток на каждый контакт при его равномерной нагрузке, не более 1А.

5. Максимальный ток на одиночный контакт при десятипроцентной от максимального тока нагрузке остальных контактов, не более 1.5 А.

6. Максимальное рабочее напряжение 100 В.

7. Повышенная рабочая температура среды 85 С.

8. Пониженная температура среды минус 60°С.

9. Повышенная относительная влажность воздуха 98 % при температуре 35° С.

10. Атмосферное пониженное рабочее давление 1,3·10-4 Па (10-6 мм рт.ст.).

11. Атмосферное повышенное рабочее давление 29,4·104 Па (3 кгс/см^2).

Сформулированы требования к материалу в таблице 1.

Таблица 1

Требования к материалам

№ п-п	Наименование показателя	Норма ГОСТ 20437-89
1.	Изгибающее напряжение при разрушении, МПа(кгс/см^2)	168 (1700)
2.	Разрушающее напряжение при сжатии, МПа(кгс/см^2)	130 (1330)
3.	Ударная вязкость образца без надреза, КДж/см^2(кгс*см^2)	69 (70)
4.	Диэлектрическая проницаемость при частоте 10^6 Гц, не более	7,0
5.	Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10^6 Гц, не более	0,04
6.	Удельное объёмное сопротивление, Ом*м(Ом*см)	10^{10} (10^{12})
7.	Электрическая прочность при частоте 50Гц, МВ/м (кВ/мм), не менее	14,0 (14,0)

Проведен поиск и выбор материала из базы данных Edu Pack по диапазону максимальной и минимальной рабочей температуры, по электрическому сопротивлению представлен на рисунках 2-4.

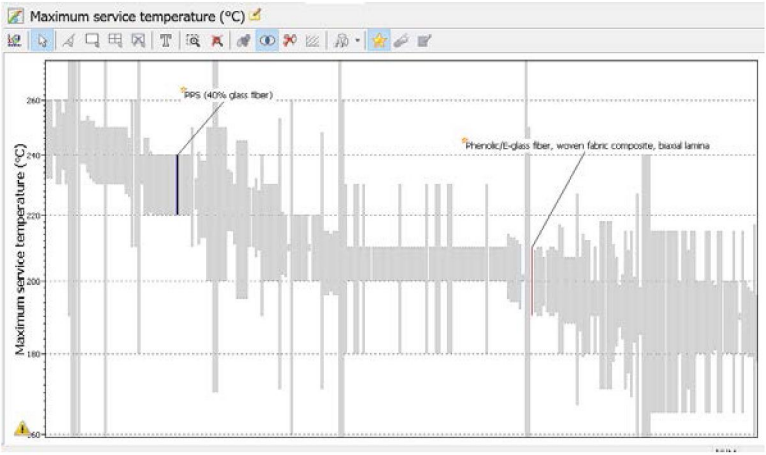


Рис. 2. Диапазон максимальной рабочей температуры

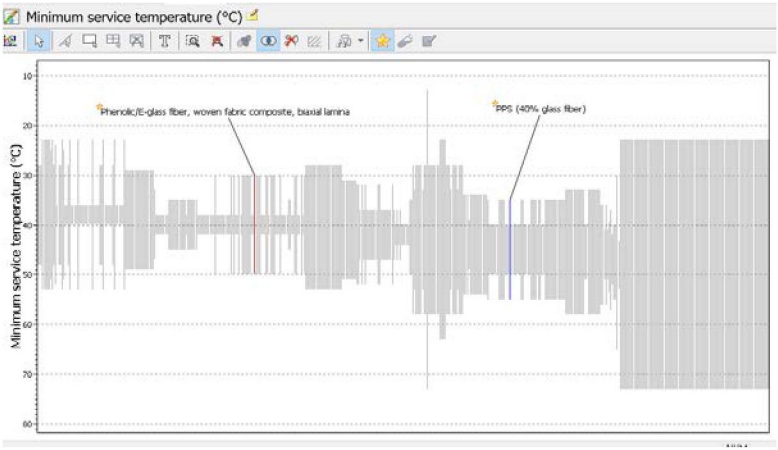


Рис. 3. Диапазон минимальной рабочей температуры

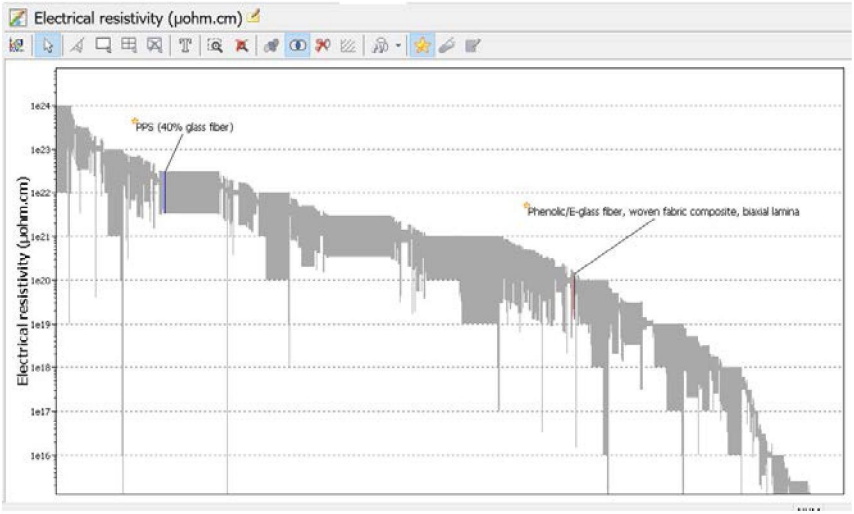
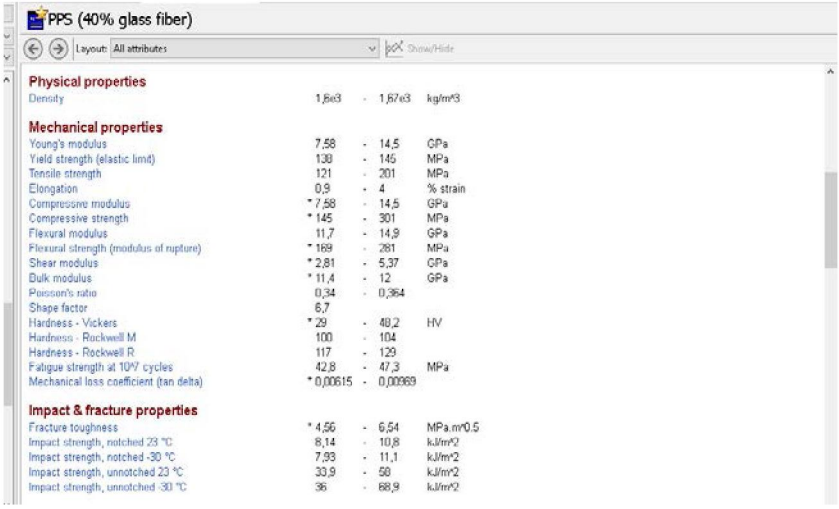


Рис. 4. Выбор материала по электрическому сопротивлению

Эффективным вариантом является использование полифенленсульфида (PPS). Этот термопласт обладает схожими физическими, термическими и электрическими свойствами, не требует предварительной подготовки и не выделяет стеклопыль и другие вредные вещества. Также полифенленсульфид обладает высокой технологичностью.

Значения физических, механических и электрических свойств выбранного материала полифенленсульфид представлены на рисунках 5, 6.

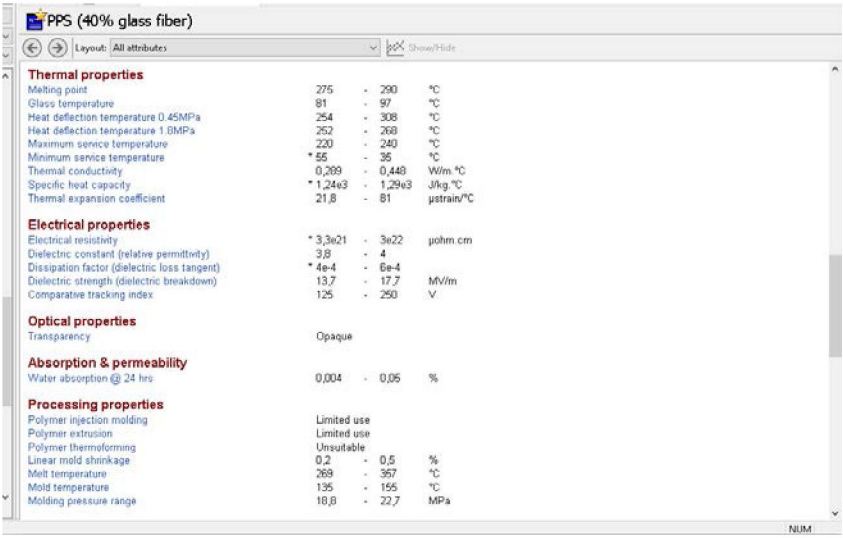


PPS (40% glass fiber)

Layout: All attributes

Physical properties				
Density	1,6e3	-	1,67e3	kg/m^3
Mechanical properties				
Young's modulus	7,58	-	14,5	GPa
Yield strength (elastic limit)	138	-	145	MPa
Tensile strength	121	-	201	MPa
Elongation	0,9	-	4	% strain
Compressive modulus	* 7,58	-	14,5	GPa
Compressive strength	* 145	-	301	MPa
Flexural modulus	11,7	-	14,9	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 169	-	281	MPa
Shear modulus	* 2,81	-	5,37	GPa
Bulk modulus	* 11,4	-	12	GPa
Poisson's ratio	0,34	-	0,364	
Shape factor	6,7			
Hardness - Vickers	* 29	-	48,2	HV
Hardness - Rockwell M	100	-	104	
Hardness - Rockwell R	117	-	129	
Fatigue strength at 10^7 cycles	42,8	-	47,3	MPa
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0,00615	-	0,00969	
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 4,56	-	6,54	MPa.m^0.5
Impact strength, notched 23 °C	8,14	-	10,8	kJ/m^2
Impact strength, notched -30 °C	7,93	-	11,1	kJ/m^2
Impact strength, unnotched 23 °C	33,9	-	50	kJ/m^2
Impact strength, unnotched -30 °C	36	-	68,9	kJ/m^2

Рис. 5. Значения физических и механических свойств полифенленсульфида



PPS (40% glass fiber)

Layout: All attributes

Thermal properties				
Melting point	275	-	290	°C
Glass temperature	81	-	97	°C
Heat deflection temperature 0.45MPa	254	-	308	°C
Heat deflection temperature 1.8MPa	252	-	268	°C
Maximum service temperature	220	-	240	°C
Minimum service temperature	* 55	-	35	°C
Thermal conductivity	0,269	-	0,448	W/m.°C
Specific heat capacity	* 1,24e3	-	1,29e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	21,8	-	81	µstrain/°C
Electrical properties				
Electrical resistivity	* 3,3e21	-	3e22	µohm.cm
Dielectric constant (relative permittivity)	3,8	-	4	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 4e-4	-	6e-4	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	13,7	-	17,7	MV/m
Comparative tracking index	125	-	250	V
Optical properties				
Transparency	Opaque			
Absorption & permeability				
Water absorption @ 24 hrs	0,004	-	0,05	%
Processing properties				
Polymer injection molding	Limited use			
Polymer extrusion	Limited use			
Polymer thermoforming	Unsuitable			
Linear mold shrinkage	0,2	-	0,5	%
Melt temperature	269	-	367	°C
Mold temperature	135	-	155	°C
Molding pressure range	18,8	-	22,7	MPa

NUM

Рис. 6. Значения электрических свойств полифенленсульфида

На рисунке 7 представлена информация по стоимости и области применения выбранного материала полифенленсульфид.

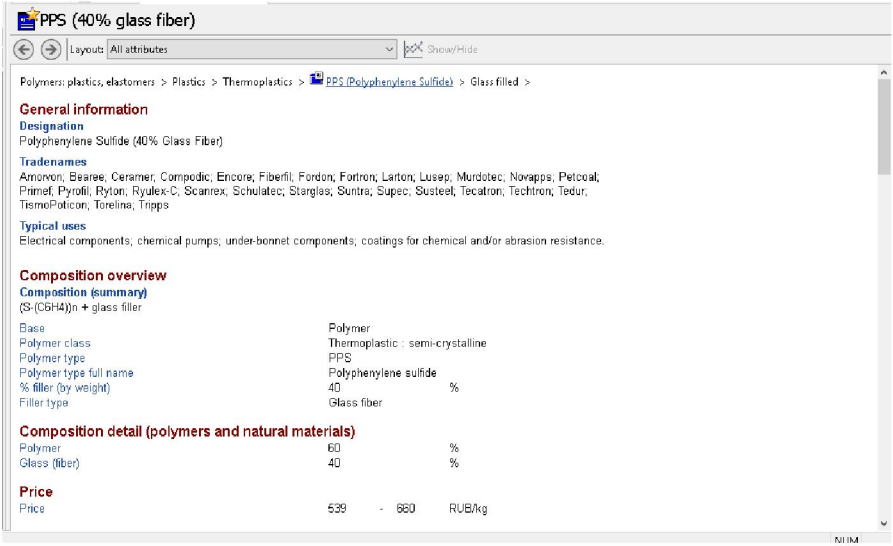


Рис. 7. Стоимость и область применения полифенленсульфида.

Таким образом, поставленная задача выполнена: полифенилленсульфид удовлетворяет заявленным требованиям к изолятору.

SELECTION OF MATERIAL FOR THE BODY OF THE CONNECTOR. SOLUTION OF CASE PROBLEMS IN THE COURSE "MATERIALS SCIENCE"

Valiev A., Dranitsina E.
Scientific adviser: F. Kurtayev,
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

УДК 67.03

КОНВЕРСИЯ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Валиев А.Р., Драницина Е.А.
Научный руководитель: Ф.Н. Куртаева, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Для реализации сварки взрывом сборочных конструкций без деформирования и повреждений предложен состав ВВ. Выделены преимущества взрывчатых составов на основе конверсионного сырья в виде «крошки» устаревших баллиститных порохов, пластифицированной энергонасыщенным пластификатором.

Сварные конструкции, произведенные с помощью энергии взрыва, в отличие от подобных конструкций, полученных другими способами сварки давлением, отличаются прочной связью между слоями, минимальным электрическим сопротивлением, высокой чистотой контактирующих поверхностей и, как следствие, отсутствием межслойной коррозии при эксплуатации [1].

Для обработки металлов с помощью энергии взрыва в зависимости от назначения операции применяются порошкообразные или пластичные, в виде ленты, шнура, полос, спрессованных зарядов, с малой (для сварки $D \leq 4000$ м/с) или большой (для резки и упрочнения D~6000-7000 м/с) скоростью детонации. Используемые стандартные взрывчатые вещества не обладают широким диапазоном эксплуатационных характеристик морозостойкости, влагостойкости, детонационной способности.

В 1990-е годы в период экономического кризиса и отсутствия оборонных заказов активно осуществлялись разработки промышленных ВВ на основе конверсионного сырья. Одной из таких разработок является запатентованный состав взрывчатого вещества для обработки металлов взрывом, в том числе для сварки, содержащие в качестве структурно-механической основы баллиститную массу.

Баллиститная основа обеспечивает физико-химическую стабильность зарядов и является энергетической основой композиции. Физико-механические и теплофизические характеристики массы позволяют перерабатывать ее с использованием баллистической технологии и формировать как в виде листа, так и в виде прессованных зарядов. При этом в период отсутствия оборон заказа оборудование предприятий и трудовые ресурсы могут быть задействованы. А также, таким образом может эффективно решаться задача утилизации устаревших (с истекшим сроком хранения) энергонасыщенных продуктов.

Согласно изобретению, использование во взрывчатом составе баллиститных масс: нитроклетчатка, нитроглицерин и диметилдифенилкарбамид в соотношении 58: 40: 2 мас. % в количестве 70,93-86,87 мас. % обеспечивает высокие взрывчатые характеристики. По сравнению со штатными промышленными ВВ конверсионные взрывчатые вещества имеют ряд преимуществ, таких как: высокие значения плотности ($\rho_З$ = 0,95-1,57 г/см^3), физическая стабильность, влагостойкость, морозостойкость, широкий интервал значений скорости детонации (D = 1,05-7,72 км / с), небольшие значения критической толщины ($h_{кр}$ = 6,0-14,5 мм), а также не имеют критической плотности т.е. могут детонировать во всем диапазоне плотностей заряда. Однако заявленный состав не может обеспечить малые значения критической толщины до ~ 1,5 мм. Средняя эффективная толщина равна 6,0-14,6 мм [2].

Анализируя литературные и приведенные выше данные, можно подытожить: преимущества взрывчатых составов на основе конверсионного сырья в виде «крошки» устаревших баллистических порохов, которые пластифицируются с помощью энергонасыщенного пластификатора можно использовать в узконаправленных задачах преимущественно экономического или экологического характера.

Список литературы

1. *Лысак В. И., Кузьмин С. В.* Сварка взрывом. — М.: Машиностроение, 2005. — 544 с.

2. Взрывчатый состав: патент РФ № 2197454, МПК С06В

25/26/ Косточко А.В., Смола Е.Б., Вахитова Т.Т., Куртаева Ф.Н., Рудаков В.В; заявитель и патентообладатель: Казанский государственный технологический университет.- публ. 20.03.2010 г

CONVERSION OF ENERGY-SORTED MATERIALS FOR METAL PROCESSING

Valiev A., Dranitsina E.
Scientific adviser: F. Kurtayev,
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

УДК 656.055.971

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

Габайдуллина К.М.
Научный руководитель: Э.Р. Галимов, докт. техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань)

Установлена зависимость свойств покрытий от структуры, природы и количественного соотношения микросферических отражателей, равномерности распределения, дисперсности, а также режимных параметров и формирования функциональных слоев. Выбраны материалы для световозвращающих покрытий и разработана технология их формирования.

В настоящее время в России используются пленки как отечественных, так и зарубежных производителей, таких как «3М» (США), «Регарт» (Россия), «AVERY DENNISON» (Германия), «ТМ» (Китай). Наиболее распространенной и известной фирмой является американская компания «3М», именно ею в 1939 году была изобретена световозвращающая пленка (СВП). На данный момент компания производит СВП под названием «3М с».

Поиски, проведённые кафедрой материаловедения Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева, позволили прийти к выводу, что в РФ нет собственного производства световозвращающих материалов и в основном изготовление световозвращающих изделий различного применения основано на использовании закупочных световозвращающих плёнок и тканей.

Широкое применение световозвращающих покрытий на основе выпускаемых отечественной промышленностью сдерживается из-за отсутствия научно обоснованных данных по выбору исходных компонентов и оптимальных составов, структуры, режимов и способов их получения. Особую актуальность в этой связи приобретают

исследования, направленные на разработку составов и технологических процессов получения наполненных световозвращающих порошковых покрытий с требуемым комплексом свойств.

Целью работы по указанной теме является разработка рецептурных и технологических параметров получения световозвращающих покрытий с установленными в соответствии с существующими стандартами, оптическими показателями, используя компоненты российского производства.

Световозвращающие поверхности (СВП) характеризуются способностью возвращать поток света, падающий на них, обратно в направлении источника света. Это их свойство привело к широкому применению СВП во многих областях техники и промышленности.

Существует технология изготовления световозвращающих пленок, основанная на использовании стеклянных шариков в качестве отражающих элементов.

Свет в пленках на основе стеклянных шариков (рис. 1) в процессе отражения претерпевает несколько изменений своего направления и включает как отражение, так и преломление. Ниже представлена схема движения светового луча и его путь через световозвращающий элемент.

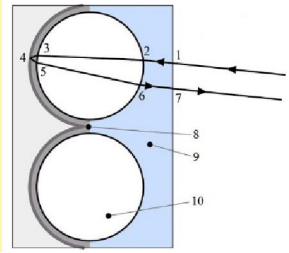


Рис. 1. Схема движения светового луча и его путь через микросферу:
1, 2, 3, 5, 6, 7 – преломление, 4 – отражение; 8 – отражающий слой;
9 – защитный светопропускающий слой; 10 – стеклянная микросфера

Структура разрабатываемого СВП представляет собой многослойную тонкопленочную конструкцию, имеющую в своем составе линзовые световозвращатели (рис. 2).

Световозвращающее покрытие обычно включает прозрачный

слой, имеющий переднюю светопринимающую поверхность и заднюю поверхность, на которой сформирован массив световозвращающих элементов. Свет, падающий на переднюю поверхность, проходит через нее, падает на световозвращающие элементы, образующие в совокупности двумерный световозвращающий массив с регулярным расположением элементов, и отражается, выходя далее через переднюю поверхность.

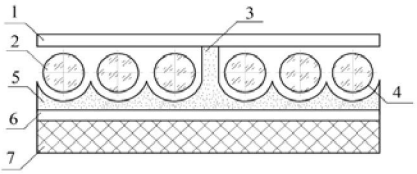


Рис. 2. Структура световозвращающего покрытия на микросферических световозвращателях: 1 – защитный слой, 2 – микрошарик, 3 – разделитель (полимерная сетка с ячейками определенной формы), 4 – отражающий слой, 5 – связующий слой, 6 – монтирующий слой, 7 – подложка

При правильном выборе материала и технологии формирования качество и надежность изделий повышаются, в результате, снижается себестоимость выпускаемой продукции. Материалы, из которых изготавливаются оптические изделия, должны быть прозрачными, иметь высокую оптическую однородность и быть стойкими к механическим и климатическим воздействиям. Эффект световозвращения – способность материала возвращать поток излучения от него обратно в направлении источника света. Часто их изготавливают в виде многослойных пленочных конструкций.

При структурном представлении СВП можно выделить следующие составляющие эту конструкцию слои:

Верхний светопропускающий защитный слой: полиэтилентерефталатная пленка. Этот материал обладает прозрачностью, высокой прочностью, хорошей пластичностью и химической стойкостью, толщина слоя составляет 120 мкм, коэффициент преломления $n = 1{,}57$.

Герметизирующий слой с ячейками различных конфигураций: синтетические сетки с прямоугольными ячейками, площадь ячейки – 9 мм^2.

Связующий слой: быстро отверждаемый прозрачный оптический клей ОПЭ - 3 с коэффициентом преломления n = 1,67.

Микросферические стеклянные шарики: стекло марки К8 (n = 1,51; d = 45–100 мкм).

Отражающий слой: фольга алюминиевая толщиной 80 мкм.

Монтирующий слой: акриловая смола, отверждаемая термическим способом.

Формирование СВП в лабораторных условиях осуществляется следующим образом. На связующий слой, предварительно нанесенный на силиконовую ленту, напыляют микросферы, выбранные для исследования с заданными размерами. Их прокатывают роликами, выкладывая поверху лавсановую или фторопластовую пленку, для их углубления в силиконовую ленту, проникая через связующий слой.

На отвержденный связующий слой с микросферическими шариками выкладывается полимерная пленка расчетной толщины, равной величине продольной сферической аберрации, имеющая отражающую металлизированную поверхность. Затем, путем прокатывания роликами полученного слоя, формируют криволинейную эквидистантную диаметру микросфер фокусирующий слой.

На фокусирующий слой наносят монтирующий слой в виде акриловой смолы определенной вязкости и отверждают. Следующая операция – удаление выполненных слоев с силиконовой ленты и на открытые поверхности монтирующего слоя накладывается герметизирующая сетка с прямоугольными ячейками вместе с верхней светопропускающей пленкой. Соединение слоев проводим термическим склеиванием. В результате получаем световозвращающее покрытие, по структуре близкое к эталонной пленке «3М» (рис. 3 и 4).

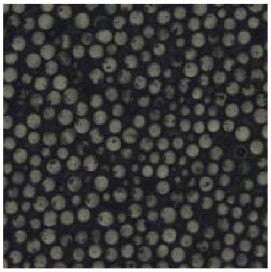


Рис. 3. Образец 2

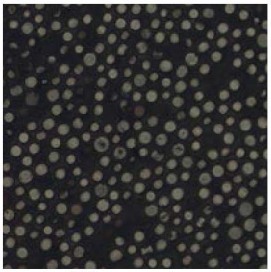


Рис. 4. Образец фирмы 3М (эталон структуры СВП)

Образец 2 имеет структуру плотно упакованных микросфер. Преобладают микрошарики диаметром 40–80 мкм.

Выводы

1. Установлено, что свойства покрытий определяются структурой, природой и количественным соотношением микросферических отражателей, равномерностью распределения, дисперсностью, а также режимными параметрами и формированием функциональных слоев.

2. В ходе работы выбраны материалы, позволяющие сформировать тонкопленочное световозвращающее покрытие, а также разработана технология его формирования в лабораторных условиях, с последующим исследованием оптических характеристик.

3. Разработан технологический процесс формирования многослойного световозвращающего покрытия с оптимальными режимными параметрами.

Список литературы

1. *Зверев Э.В., Галимов Э.Р., Тукбаев Э.Е., Галимова Н.Я.* Технология нанесения полимерных порошковых покрытий специального назначения. Ж. «Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева», 2010 г., № 2. С. 34–36.

2. *Холодкова И.К., Калентьев В.К., Гарипов Р.М., Крикунеко Р.И.* Световозвращающие пленки на полимерной основе // Вестник Казанского технологического университета – 2013. Т. 16. – № 9. – С. 145–149.

3. *Зверев Э.В., Тукбаев Э.Е., Галимов Э.Р.* Световозвращающие полимерные порошковые покрытия. Ж. «Научно-технические ведомости СПбГПУ», Санкт Петербург, 2009 г., № 4-2(89). – С. 31–34.

4. *Зверев Э.В., Тукбаев Э.Е., Галимов Э.Р.* и др. Опыт создания производства дорожных знаков со световозвращающим эффектом. Материалы УП Всероссийской конференции по проблемам науки и техники и высшей школы. Санкт Петербург, 2003 г. – С. 15–18.

5. Патент US № 2204154 МПК G02B5/124 от 10.05.2003.

6. Патент RU № 2442998 МПК G01S17/74 от 20.02.2012.

THE CHOICE OF OPTIMAL MATERIALS FOR REFLECTIVE COATINGS AND TECHNOLOGY OF THEIR FORMATION

Gabaidullina K.

Supervisor: E. Galimov, Doctor of Engineering Sciences, Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The dependence of coating properties on the structure, nature and quantitative ratio of the microsphere reflectors, uniformity, dispersion, as well as the operating parameters and formation of functional layers is installed. The selected materials for reflective coatings and developed technology of their formation.

УДК 669.295

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕЙТРАЛЬНЫХ УПРОЧНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА (α+β)-ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Гвоздева О.Н., Умарова О.З., Пожога В.А.
Научный руководитель: С.В. Скворцова,
докт. техн. наук, профессор
(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва)

В работе показано влияние твёрдорастворного упрочнения на структуру, механические и технологические свойства (α+β)-титанового сплава.

Детали крепления относятся к ответственным элементам конструкции авиационной и судостроительной промышленности и являются изделиями массового производства. Поэтому наиболее рациональная и высокопроизводительная технология их изготовления должна быть основана на холодной деформации. Таким образом, сплав для деталей крепления должен быть технологичным при обработке давлением и обеспечивать высокие прочностные характеристики готовых изделий. Наиболее удачным сочетанием механических и технологических свойств применительно к деталям крепления обладает титановый (α+β)-сплав ВТ16

Разработанные ранее режимы термической обработки [1] для сплава ВТ16 позволили создать структуру, которая при комнатной температуре обладает высокой технологической пластичностью и, соответственно невысокой прочностью. Повысить прочность крепежа из сплава ВТ16 возможно за счет проведения упрочняющей термической обработки, но в связи с тем, что обработке должны подвергаться уже готовые изделия, то для исключения процесса окисления она должна проводиться в вакууме, что не позволяет получить максимальное упрочнение, которое можно реализовать на данном сплаве.

Достигнуть более высокого уровня прочностных характеристик возможно, например, за счёт дополнительного твёрдорастворного упрочнения сплава, что может быть достигнуто введением дополнительных легирующих элементов, в первую очередь нейтральных упрочнителей. Цель данной работы состояла в изучении влияния нейтральных упрочнителей на механические и технологические свойства сплава ВТ16.

Исследования проводились на горячекатаном прутке диаметром 16 мм из опытного сплава, химический состав которого, представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемого сплава

Элемент	Ti	Al	V	Mo	Sn	Zr
Количество (% массе)	ост	3,0	4,4	5,4	0,7	1,0

Слиток опытного сплава был получен двойным вакуумно-дуговым переплавом. Пруток полуен вначале ковкой в β-области до диаметра 30 мм, а затем прокаткой в (α+β)- области с суммарной степенью деформации более 70 %. Прокатку осуществляли до 16 мм за 15 проходов при температурах 800°, 725° и 650°С.

В кованом состоянии структура представлена крупными β-зернами и дисперсными частицами α-фазы, выделяющимися в процессе охлаждения до комнатной температуре (рис. 1а). Наличие дисперсной α-фазы определяет и повышенную твердость прутков, которая составила 37,5 ед. HRC. Прокатка в (α+β)- области позволяет сформировать однородную мелкодисперную структуру (рис. 1).

Проведённые исследования показали, что чем ниже температура прокатки, тем более дисперная структура прутка и выше твердость, которая изменяется от 27 ед. HRC после прокатки при 800°С, до 32 ед. HRC после прокатки при 650°С.

На следующем этапе работы было исследовано влияние режимов термической обработки на формирование структуры, для обеспечения высокой технологической пластичности. Температурно-

скоростные параметры обработки выбирались исходя из характеристических температур (температура полиморфного превращения и критическая температура). На основании ранее проведённых исследований было выбрано два режима отжига:

простой или одноступенчатый отжиг: нагрев до 690°С ($T_{пп}$-160°С), выдержка в течение 7 часов и охлаждение на воздухе;

ступенчатый отжиг: нагрев до 780°С ($T_{пп}$-70°С), выдержка в течение 2 часов, охлаждение с печью до 690°С, выдержка в течение 4 часов и охлаждение на воздухе.

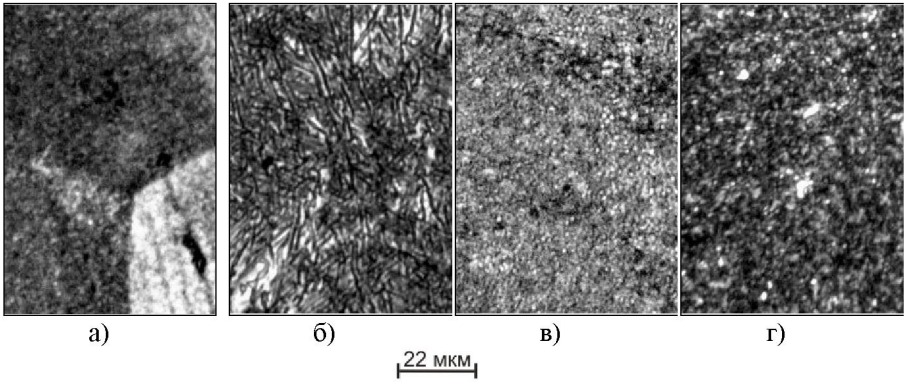


Рис. 1. Микроструктура образцов
из сплава Ti-3Al-4,5V-5,5Mo-0,5Sn-1Zr после ковки
в β-области (а) и прокатки при 800°С (б), 725°С (в), 650°С (г)

Проведённые исследований показали, что структура, формирующаяся после простого отжига, зависит от температуры прокатки. Чем ниже температура деформации, тем мельче структура (рис. 2а). Ступенчатый отжиг приводит к формированию однотипной структуры, независящей от температуры предварительной прокатки (рис. 2б). Данные результаты подтверждаются и значениями твёрдости (табл. 2)

На следующем этапе работы были определены механические свойства образцов, вырезанных из прутков сплава Ti-3Al-4,5V-5,5Mo-0,5Sn-1Zr, прокатанных при температуре 650°С и отожжен-

ных по двум режимам. Результаты испытаний представлены в таблице 3. Для сравнения приведены механические свойства образцов из сплава ВТ16, отожженных по таким же режимам. Дополнительное легирование сплава ВТ16 цирконием и оловом позволяет на 60 МПа увеличить прочность, при снижении относительного удлинения на 3-4 % и относительного сужения на 10-12 %.

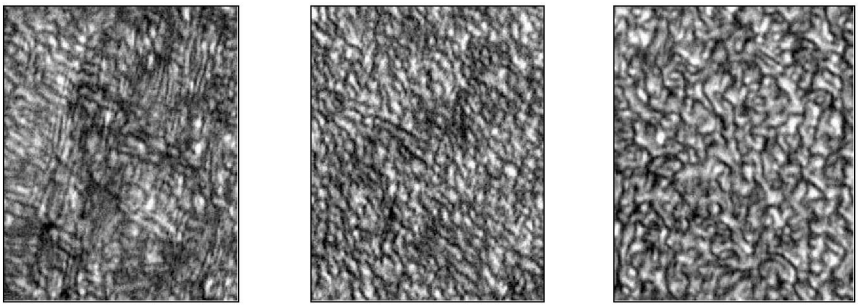


Рис. 2. Микроструктура горячекатаных прутков
из сплава из сплава Ti-3Al-4,5V-5,5Mo-0,5Sn-1Zr:
а) прокатка при 800°С + простой отжиг, б) прокатка при 650°С +
простой отжиг, в) прокатка при 650°С +ступенчатый отжиг

Оценку технологичности провели определением предельной степени сжатия при осадке при комнатной температуре до появления первой трещины. Проведённые испытания показали, что предельная степень сжатия составляет 58 % после одноступенчатого отжига и 65 % после двухступенчатого отжига. Повышение пластичности после ступенчатого отжига связано с увеличением размера структурных составляющих. Однако опытный сплав по технологической пластичности уступает сплавы ВТ16.

Таблица 2

Результаты исследований горячекатаных прутков из сплава Ti-3Al-4,5V-5,5Mo-0,5Sn-1Zr после отжига

Температура прокатки	Режим отжига	Твёрдость, ед. HRC

800°С	690°С, 7 часов, воздух	26
725°С		27
650°С		28
800°С	780°С → 640°С, 4 часа, воздух	26
725°С		26
650°С		26

Таблица 3

Механические свойства горячекатаных прутков ∅ 16 мм из опытного сплава и ВТ16

Режим термической обработки	Сплав	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_в$, МПа	δ, %	ψ, %	$\varepsilon_{пр}$, %
690°С, 7часов, воздух	Ti-3Al-4,5V-5,5Mo-0,5Sn-1Zr	915	970	17	64	55
	ВТ16	904	910	20	76	65
780°С → 690°С, 4 часа, воздух	Ti-3Al-4,5V-5,5Mo-0,5Sn-1Zr	880	905	16	65	58
	ВТ16	840	845	20	76	76

На основании проведённых исследований можно сделать вывод, что введение в сплава нейтральным легирующим элементам замещения, таких как цирконий и олово, оказывает достаточно эффективное твердорастворное упрочнение, но существенно снижает технологическую пластичность.

Таким образом, данный сплав после упрочняющей термической обработки, хоть и будет обеспечивать в изделиях сбалансированный комплекс механических и эксплуатационных характеристик, но он не сможет проявить достаточную технологическую пластичность для реализации производительных методов получения качественных полуфабрикатов холодной пластической деформацией.

Список литературы

Ильин А.А., Скворцова С.В., Овчинников А.В., Ручина Н.В. Влияние структуры сплава ВТ16 на его технологическую пластичность // Авиационная промышленность, 2006. № 3. С.43–49.

INFLUENCE OF NEUTRAL ALLOYING ELEMENTS ADDITION ON PROPERTIES OF (α +β)-TITANIUM ALLOY

Shalin A., Gvozdeva O., Ivanov A.
Supervisor: S. Scvortsova, Doctor of Engineering Science, Professor
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

The influence of solid-hardening on the structure, mechanical and technological properties of (α + β)-titanium alloy were studied.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «МАТРИЦА» С РАЗРАБОТКОЙ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Губайдуллин Р.Р.
Научный руководитель: Хасанов Р. Ш., канд. экон. наук, профессор; Абзалов А. Р., канд. техн. наук
(Зеленодольский институт машиностроения и информационных технологий (филиал), Зеденодольск)

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был разработан технологический процесс изготовления «Матрица неподвижная». Моделирование, обработку и программу для станков с ЧПУ матрицы выполнял в программе Unigraphics NX 8.5.

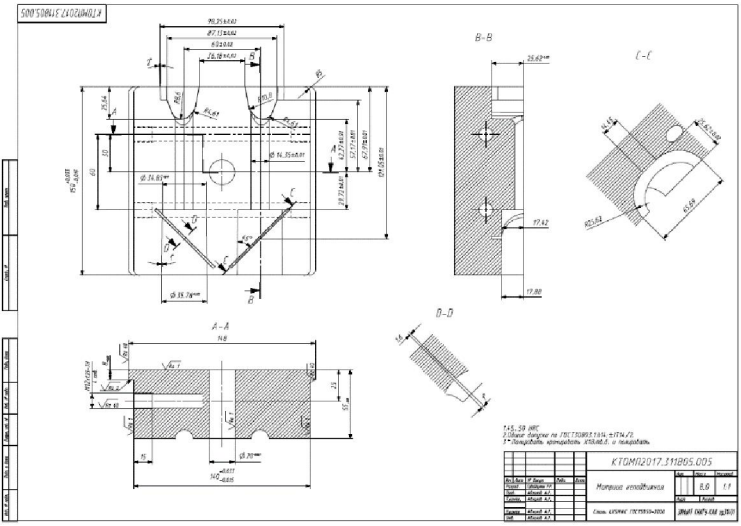


Рис. 1.Чертеж «Матрица неподвижная»

Матрица – основная деталь любой пресс-формы, непосредственно участвующая в формообразовании наружной поверхности изделия. Форма, размеры и конструкция матрицы определяются конструкцией изделия.

Данная пресс форма позволяет изготовить литьем пластмасс под давлением сливной лоток, которая применяться в холодильной продукции POZIS.

С помощью применения станков с ЧПУ матрица обрабатывается с высокой точностью и большой скоростью.

Моделирование, обработку и программу для станков с ЧПУ матрицы выполнял в программе Unigraphics NX 8.5

Unigraphics NX – это программа, которая позволяет моделировать изделия любой степени сложности и размерности. Функционал позволяет автоматизировать процессы разработки дизайна от оцифровки до анализа технологических процессов изготовления элементов внешнего облика и проектирования соответствующей оснастки.

NX CAM – модуль подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

До начала выполнения обработки были произведены подробные расчеты режимов резания по всем ее элементам, применительно к условиям единичного и мелкосерийного производства.

Режимы резания являются основой любого технологического процесса, и их назначение служит одним из главных условий создания эффективных и ресурсосберегающих технологий машиностроительного и приборостроительного производства.

Приведенный в технологической части, выбор оборудования, инструмента, способов обработки поверхностей, соответствующих современному уровню развития машиностроения. В качестве режимов резания оптимальных параметров, позволяет получать детали требуемого качества при более низких затратах основного и вспомогательного времени на наладку станков.

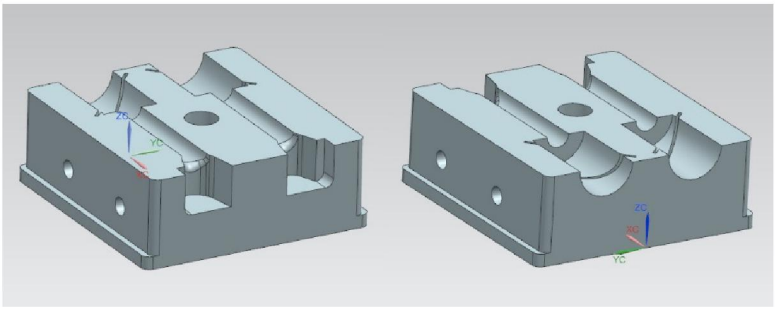


Рис. 2. 3D модель «Матрица неподвижная»

Список литературы

1. *Трофименко О.В., Хабаров А.Е., Абзалов А.Р.* Опытное производство альтернативных энергоустановок // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 12-2. С. 279–282.

2. *Трофименко О.В., Белавин А.Ю., Абзалов А.Р.* Малогабаритный пятикоординатный станок с компьютерным программным управлением // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-2. С. 112.

3. *Абзалов А.Р., Трофименко О.В., Белавин А.Ю.* Малогабаритный пятикоординатный станок с компьютерным программным управлением // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-2. С. 112.

4. *Трофименко О.В., Белавин А.Ю., Абзалов А.Р.* Многофункциональный опытный образец робота // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-3. С. 13.

5. *Иванова В.Н., Абзалов А.Р.* Нормирование точности в машиностроении с применением систем CAD/CAM/CAE: учебное пособие / В. Н. Иванова, А. Р. Абзалов; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Казанский нац. исслед. технический ун-т им. А. Н. Туполева – КАИ». Казань, 2011.

6. *Абзалов А.Р., Обайди Л.М., Печенкин М.В.* Проектирование операций обработки на трехкоординатных станках с ЧПУ в условиях опытно-экспериментального производства // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С. 185.

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURING THE "MATRIX" PART WITH THE DEVELOPMENT OF CONTROL PROGRAMS FOR CNC MACHINES

Gubaidullin R.
Scientific adviser: R. Khasanov, Ph.D.,
Assistant Professor; A. Abzalov, Cand. Sc.
(Zelenodolsk Institute of Mechanical Engineering and Information Technology (branch), Zelenodolsk)

As a result of the final qualification work, the technological process of manufacturing the "Matrix fixed" was developed. Modeling, processing and program for CNC machines of the matrix was performed in the Unigraphics NX 8.5 program.

УДК 621.9.047/048

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ АРМИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМ ВОЛОКНОМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Злобина И.В., Мулдашева Г.К., Ерофеева К.Р., Морозов Д.В.
Научный руководитель: Н.В. Бекренев, докт. техн. наук, профессор
(Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов)

Изложены результаты экспериментальных исследований влияния электромагнитного поля и ультразвука на обрабатываемость армированного углеродными волокнами углепластика с квазиизотропной структурой. Установлено, что модифицирование структуры материала путем воздействия перед механической обработкой электромагнитного поля малой мощности способствует существенному уменьшению дефектов резания: вытянутых и порванных волокон, образования кромочных сколов, «лохматости» кромок отверстий. При обработке такого материала микрорезанием глубина и ширина царапины снижаются на 10–16 %, что свидетельствует о повышении его прочности.

В последнее время в авиационной и ракетно-космической технике все большее значение приобретает использование композиционных материалов и, в частности, неметаллических на основе полимерной матрицы, армированной углеродными или арамидными волокнами. По данным исследовательской компании Grand View Research, объем мирового рынка углепластиков достигнет к 2022 году $23,55 млрд. При этом на аэрокосмическую отрасль приходилось в 2014 г. более 30 % потребления данных материалов [1, 5].

Изложенное свидетельствует о существовании и сохранении в близкой и отдаленной перспективе потребности высокотехнологичных производств в применении композиционных материалов высокого качества. Однако, композиционные материалы характеризу-

ются выраженной анизотропией физико-механических характеристик, определяемой видом и ориентацией армирующих компонентов. В тоже время перспективные авиационные и ракетные комплексы будут высокоманевренными, использоваться в условиях гиперзвуковых скоростей в атмосфере и ближнем космосе, что выдвигает повышенные требования к механической и термической прочности их конструкционных элементов, имеющих сложные формы, сильно влияющие на распределение опасных механических и температурных напряжений.

Это вызывает необходимость дополнительного усиления конструкции в некоторых опасных участках, приводя к увеличению веса, что нежелательно для изделий авиационно-космической техники, в частности для высокоманевренных и скоростных объектов, а также летательных аппаратов тяжелого класса, конструкционные элементы которых испытывают значительные знакопеременные нагрузки.

В технологических процессах изготовления изделий из композиционных материалов значительное место занимают финишные операции размерной и отделочной обработки: кромочная, образование отверстий, крепежных и стыковочных пазов и базовых точных поверхностей, резка, выполняющиеся методами резания лезвийным и абразивным инструментом. Отмеченная неоднородность структуры как пултрузионных, так и отвержденных формованных углепластиков, состоящих из относительно мягкой и вязкой матрицы и высокотвердых нитевидных армирующих структур, отличающихся повышенными абразивными свойствами, приводит к крайне неравномерному процессу удаления стружки при обработке данных материалов резанием и быстрому затуплению и износу инструмента. Это вызывает увеличение сил резания и преимущественное разрушение матрицы. Армирующие структуры, освобожденные от связующего, разделяются на отдельные волокна и выдавливаются на периферию зоны обработки, нарушая качество поверхности и точность ее формы [6–8]. Указанный результат обработки вызывает необходимость повторного связывания отделившихся от монолита волокон компаундами с последующей их ручной зачисткой, что увеличивает трудоемкость и снижает качество изготовления изделий.

Производители режущего инструмента, в частности, фирма Sandvick, рекомендуют для повышения качества обработки углепластиков использовать инструменты особой геометрии со специальным покрытием, высококачественные твердые сплавы, адаптивное управление режимами и циклом обработки с использованием интеллектуальных систем управления оборудованием. В современных условиях, когда к России применяются санкционные меры, а также в интересах снижения технологической зависимости и импортозамещения актуально изыскание альтернативных путей повышения качества обработки армированных композиционных материалов, не требующих сложного и дорогостоящего зарубежного оборудования и закупки лицензий на технологии.

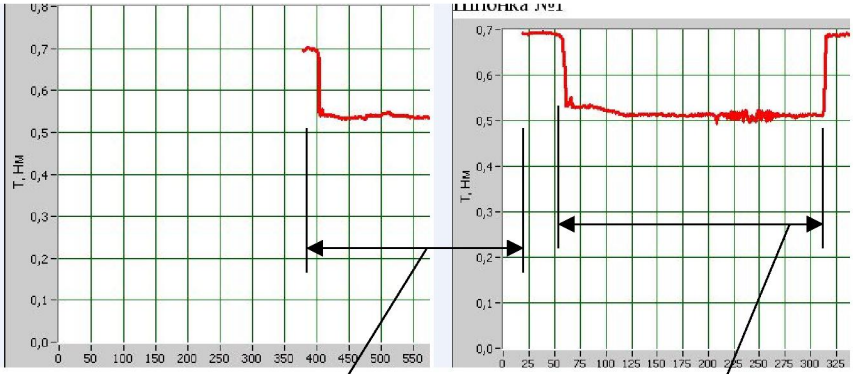
Одним из путей решения проблемы повышения эффективности и качества размерной обработки труднообрабатываемых материалов является применение комбинированного ультразвукового резания лезвийным или абразивным инструментом с сообщением последним колебаний ультразвуковой частоты и малой амплитуды. Теория и практика таких процессов обоснованы трудами А.И. Маркова, М.С. Нерубая, Дз. Кумабэ и других отечественных и зарубежных ученых. Однако, эти исследования касались в основном нержавеющих и жаропрочных сталей и сплавов, керамики и высокотвердых износостойких покрытий. Достаточно полный анализ технологий ультразвукового комбинированного резания содержится в [9–11]. О применении ультразвукового резания при обработке армированных углеродными волокнами композиционных материалов в настоящее время научно-технической информации мало или она содержит противоречивые результаты. Основываясь на имеющихся данных, можно предположить возможность улучшения обрабатываемости армированных углеродным волокном композиционных материалов и повышения качества поверхности изделия на границе выхода углеродных волокон. Преимущественный эффект ультразвука по ускоренному разрушению твердых материалов также может привести к облегчению срезания углеродных волокон и снижению степени их разделения в обрабатываемой плоскости.

Другой подход к улучшению качества обработки композици-

онных материалов может заключаться в модифицировании структуры окончательно сформированных изделий в электромагнитном поле. Выполненные нами исследования [12–14] свидетельствуют о повышении прочности подвергнутых обработке армированных углеродными волокнами образцов с квазиизотропной структурой на 14–25 % в зависимости от вида испытаний. Анализ возможного механизма повышения прочности с учетом выполненного исследования микро- и наноструктуры материалов показывает, что применение воздействия способствует формированию новых многочисленных сшивок элементов матрицы и волокон. Это может способствовать затруднению отделения волокон от матрицы при механической обработке, сближению механики разрушения матрицы и волокон и, в конечном итоге, к уменьшению дефектов обработанной поверхности.

Нами проведено экспериментальное физическое моделирование обработки путем микрорезания многослойного отвержденного композиционного материала, армированного углеродными волокнами. Использовали образцы размерами 5,5х6,6х25 мм. Микрорезание осуществляли на экспериментальной компьютерной установке, оснащенной тензодатчиками и механизмом перемещения образца относительно инструмента, закрепленного в волноводе ультразвукового преобразователя. Для изучения процесса применили микрорезание (царапание) поверхности образца, аналогично известному методу склерометрии. Использовали конический индентор из твердого сплава ВК6ОМ. Внедрение индентора выполняли в статике до начала резания при фиксированном нагружении в 10 Н. Амплитуда колебаний перпендикулярно обрабатываемой поверхности выбиралась равной 2, 5, 8, 10 и 15 мкм, частота ультразвука 22,3 кГц. Использовали экспериментальный ультразвуковой генератор с программируемой с ноутбука настройкой частоты выходного напряжения в диапазоне 20–60 кГц с точностью ± 10 Гц. Были получены следующие результаты. При амплитуде 10 мкм наблюдается снижение силы резания на 25–27 %, при увеличении амплитуды до 15 мкм снижение силы резания составило 38–40 %. При этом на текущем графике изменения силы проявились периодические изменения ее значения в пределах 6-7 %, очевидно, вызванные сгенерированными

автоколебательными процессами в системе (рис. 1).

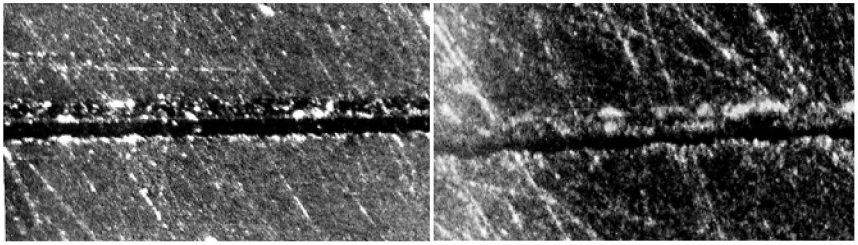


а) *б)*

Рис. 1. Влияние ультразвука с амплитудой
10 мкм (а) и 15 мкм (б) на силу микрорезания

При меньших амплитудах снижение параметра составило соответственно: при A = 8 мкм – 18 %, A = 5 мкм – 12–15 %, A = 2 мкм – 8–10 %.

На микрофотографиях (рис. 2) контрольных образцов при увеличении x25 и x500 отчетливо видны валики «выдернутых» и разделенных в обрабатываемой плоскости углеродных волокон по краям царапины и во фронтальной зоне.



а *б*

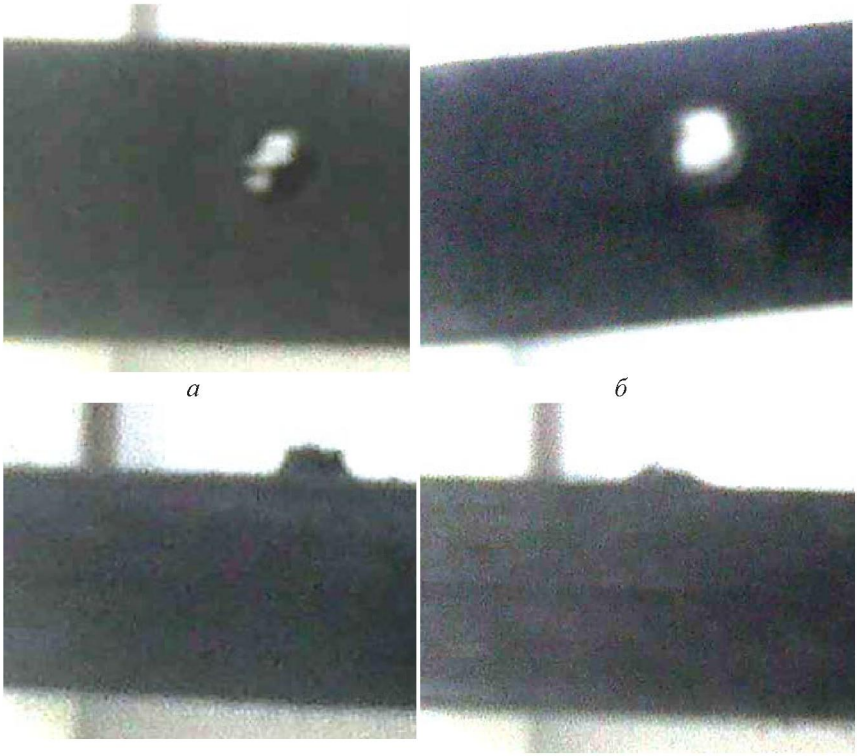
Рис. 2. Внешний вид царапины при увеличении x25,
образованной индентором в композиционном материале
при скорости движения 5 м/мин (а) без ультразвука,

(б) с ультразвуковыми колебаниями амплитудой 10 мкм

При обработке с амплитудой 10 мкм валики и волокна существенно меньше по величине (в среднем на 40–50 %), края и дно царапины ровные. На амплитуде 15 мкм наблюдаются поперечные насечки, края царапины имеют волнообразный характер, при большем увеличении заметы расслоения волокон, очевидно вызванные значительными динамическими нагрузками.

Внешний вид царапин на поверхности контрольных образцов, модифицированных в электромагнитном поле, характеризуется относительно ровными краями, отсутствует сплошное разъединение волокон обрабатываемых кромок, отмечаются участки валиков «выдернутых» волокон с размерами меньшими, чем у немодифицированного материала на 38–40 %. При этом измеренные глубина и ширина царапины оказывается меньше на 10–16 %. Данный факт свидетельствует о повышении прочности структуры материала, что вызвает уменьшение глубины внедрения индентора при фиксированной нагрузке. На модифицированных образцах, обработанных с ультразвуковыми колебаниями индентора, отмечено практически полное отсутствие валиков разъединенных выдернутых волокон и ровные края царапины при амплитудах 8–10 мкм. Глубина и ширина царапины снизились на 5–7 %, что можно считать лежащим в области погрешности измерений.

Внешний вид отверстий диаметром 2,5 мм, полученных с помощью стандартного сверла из стали Р18, представлен на рисунке 3.



а *б*

в *г*

Рис. 3. Внешний вид отверстия диаметром 2,5 мм,
просверленного в армированном углеродными волокнами
композиционном материале в плоскости отверстия (а, б)
и перпендикулярном направлении (в, г), (а и в) – контрольный образец

Видно, что на выходе инструмента при сверлении контрольного образца образуется значительный (высотой до 1 мм) выступ из «выдернутых» сверлом волокон, в отверстии присутствуют закрывающие его просвет, сохранившие целостность волокна. Для образца, предварительно обработанного в электромагнитном поле, характерно уменьшение высоты выступа более, чем в 2 раза и практически чистое отверстие с гладкими стенками, что подтверждает полученный при выполнении микрорезания результат. Одним из объяснений такого эффекта может быть повышение прочности связей

волокон и матрицы, повышение прочности самой матрицы, что обеспечивает срезание волокон без их «выдергивания» из объема материала и, как следствие, повышение качества обработки.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Установлено, что упрочняющее модифицирование в электромагнитном поле армированных углеродными волокнами композиционных материалов одновременно способствует повышению качества последующей механической обработки за счет значительного уменьшения эффектов выдергивания волокон и разделения на отдельные волокна, а также скола обработанных кромок при незначительном увеличении сопротивления резанию.

2. Установлена принципиальная возможность снижения сил резания и повышения качества поверхности композиционных, армированных углеродным волокном материалов при обработке с воздействием ультразвука промышленной частоты с амплитудой порядка 5–10 мкм.

3. Для обоснования серийной технологии целесообразно продолжение исследований с оптимизацией технологических режимов как предварительного модифицирования структуры, так и реальных процессов сверления, фрезерования, шлифования.

Список литературы

1. http://mplast.by/novosti/2016-04-29-mirovoy-ryinok-ugleplastikov-dostignet-otmetki-v-23-mlrd-k-2022-godu/

2. *Кошкин Р.П.* Основные направления развития и совершенствования беспилотных авиационных систем: http://spmagazine.ru/420, дата последнего обращения 28.01.2017 г.

3. *Каблов Е.Н.* Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 1 (34). С. 3–33.

4. *Каблов Е.Н.* Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. № 6. С. 520–530.

5. Композитный мир / спецвыпуск – Авиация и космос: Издательский дом «Мир композитов», 2011. – 36 с. www:kompomir.ru. url:http://www.uncm.ru/files/uploaded/Pressa_o_nas/Composite_World_AVIA_2011.pdf.

6. *Дударев А.С.* Вопросы получения отверстий в элементах звукопоглощающих панелей авиационных двигателей из композиционных материалов / А.С. Дударев // VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Аэрокосмическая техника и высокие технологии». Сб. тезисов. – Пермь: ПГТУ, 2005. – С. 45.

7. *Мелентьев Р.Ю.* Особенности механической обработки полимерных композиционных материалов / Р.Ю. Мелентьев, В.В. Натальчишин // Зб. наук. праць НУК. – 2013. – № 4. – С. 30–34.

8. http://tverdysplav.ru/obzor-literatury-obrabotka-kompozitnyh-materialov-2014/

9. *Бржозовский Б.М.* Ультразвуковые технологические процессы и оборудование в машино- и приборостроении: учеб. пособие / Б.М. Бржозовский, Н.В. Бекренев. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2009. 348 с.

10. *Бекренев Н.В.* Ультразвуковая обработка прецизионных отверстий малого диаметра в деталях машино- и приборостроения: учеб. пособие / Н.В. Бекренев, Б.М. Бржозовский, .К. Мулдашева и др. – Саратов: Издательский дом «Райт-Экспо», 2013. – 124 с.

11. *Zlobina I.V.* Experimental substantiation of a method of improving the efficiency of ultrasonic drilling of small diameter holes / Zlobina I.V., Muldasheva G.K., Bekrenev N.V. // Solid State Phenomena. 2016. V. 870, p.p. 539–544.

12. Increasing of the endurance of polymeric construction materials with the multilevel hierarchical structure in the microwave electromagnetic field / Zlobina I.V., Bekrenev N.V., Muldasheva G.K. // AIP Publishing, 020236-1 – 020236-4.

13. The Influence of Microwave Electromagnetic Field on Mechanical Properties of Composite Materials / Zlobina I.V., Bekrenev N.V. // Наукоемкие технологии. 2016. Т. 17. № 2. С. 25–30.

14. The influence of electromagnatic field microwave on physical

and mechanical characteristics of CFRP (carbon fiber reinforced polymer) structural / Zlobina, I.V., Bekrenev, N.V. // Solid State Phenomena. 2016. V. 870, p.p. 101-106.

THE INFLUENCE OF ELECTROPHYSICAL PROCESSES ON MACHINABILITY OF CARBON FIBER REINFORCED COMPOSITE MATERIALS

Zlobina I., Muldasheva G., Erofeeva K., Morozov D.
Supervisor: N. Bekrenev, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov)

The results of experimental researches of influence of electromagnetic field and ultrasound on the machinability of carbon-fiber-reinforced CFRP quasiisotropic structure. It is established that the modification of the structure material by exposure prior to mechanical treatment of the electromagnetic field of low power contributes to a significant reduction defects of cut: elongated and torn fibers, the formation of edge spalls, the "bushiness" of the edges of the holes. When processing such material microrganism the depth and width of scratches reduced by 10–16 %, which indicates an increase in its strength.

УДК 539.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА

Каримова Г.Г.
Научный руководитель: И.М. Закиров, докт. техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В работе представлены результаты экспериментального исследования картона на растяжение, статический изгиб и кажущегося предела прочности при межслойном сдвиге методом испытания короткой балки. Для изучения характеристик материала использованы действующие ГОСТы для каждого вида испытания. Испытания проводились на испытательной машине, которая обеспечивает измерение нагрузки с погрешностью 1 % от измеряемой величины и постоянную скорость раздвижения зажимов.

Благодаря таким свойствам картона как экологичность и экономичность, обусловлено его применение в качестве тары для различного рода продукции. В ходе производства тары выполняются промежуточные операции, например биговка, позволяющая облегчить процесс складывания и повысить его качество для получения готового продукта. Поэтому свойства картона (такие как прочность на разрыв и изгиб) являются важными характеристиками при изготовлении готового изделия. Также исследование прочностных и жесткостных характеристик картона необходимо для определения НДС и несущей способности конструкции.

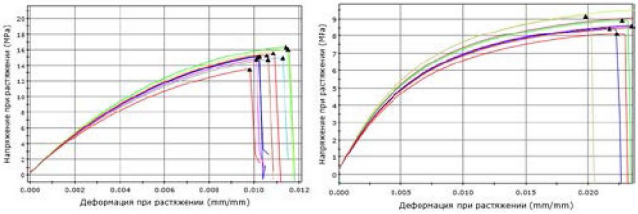
Экспериментальное оборудование для исследования на растяжение

Эксперименты проводились при относительной влажности воздуха 50 (±2) % и температуре 23 (±1)С° в соответствии с ГОСТ 1924-1-96 [1].

Для эксперимента были подготовлены по 10 образцов – в машинном и поперечном направлении из картона толщиной – 3мм, прямоугольной формы, шириной – 25 мм и длиной – 250 мм.

Образцы закреплялись в сжимающих зажимах так чтобы не

было провисания и деформации, а также поверхности зажимов находились на одной поверхности. Нагружение производилось равномерно, до разрушения образц. Скорость нагружения образцов составила 20 секунд.



а б

Рис. 1. Испытание образцов на растяжение:
а) машинном направлении, б) в поперечном направлении

Результаты экспериментов

В результате эксперимента получены числовые значения напряжения и деформации. На основании полученных значений построены графики зависимости напряжения от деформации (рис. 1).

На рисунке 1,а представлены графики, полученные при проведении эксперимента образцов в машинном направлении. Значение параметра средней нагрузки при нагружении образцов составило – 1,135 kN, а среднее значение предела прочности – 15,3 MPa, при этом среднее значение деформации образцов – 0,011 мм/мм.

На рисунке 1,б представлены графики, полученные при проведении эксперимента образцов в поперечном направлении. Значение параметра средней нагрузки при нагружении образцов составило – 0,658 kN, а среднее значение предела прочности – 8,7 MPa, при этом среднее значение деформации образцов – 0,023 мм/мм.

Экспериментальное оборудование для исследования картона на статический изгиб

Эксперименты проводились при относительной влажности воздуха 50 (±2) % и температуре 23 (±1)С° в соответствии с ГОСТ 1364.28-68 [2].

Для эксперимента были подготовлены по 5 образцов – в машинном и поперечном направлении из картона толщиной – 3мм,

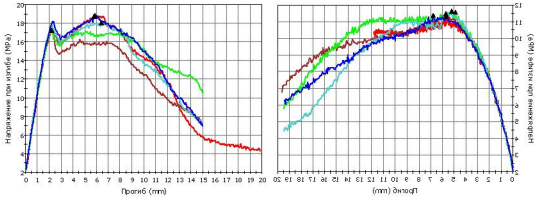
прямоугольной формы, шириной – 25 мм и длиной – 100 мм.

Образец, расположенный в опоры, нагружался постепенно до разрушения. Время от начала приложения усилия до разрушения образца – 10 секунд.

Результаты экспериментов

На рисунке 2 представлены графики зависимости прогиба от напряжения при изгибе образцов в машинном и поперечном направлении.

Среднее значение нормального напряжения при изгибе образцов в машинном направлении составило – 18,03 МРа, при этом среднее значение прогиба – 4,5 мм.



а б

Рис. 2. Испытание образцов на растяжение:
а) машинном направлении, б) в поперечном направлении

Среднее значение нормального напряжения при изгибе образцов в поперечном направлении составило – 11,47 МРа, при этом среднее значение прогиба – 5,65 мм.

Экспериментальное оборудование для определения кажущегося предела прочности при межслойном сдвиге методом испытания короткой балки

Эксперименты проводились при относительной влажности воздуха 50 (±2) % и температуре 23 (±1)С° в соответствии с ГОСТ 32659-2014 [3].

Для эксперимента были подготовлены по 5 образцов – в машинном и поперечном направлении из картона толщиной – 3мм, прямоугольной формы, шириной – 25 мм и длиной – 30 мм.

Образец, расположенный в опоры, нагружался постепенно до

разрушения. Время от начала приложения усилия до разрушения образца – 10 секунд.

Результаты экспериментов

На рисунке 3 представлены графики зависимости прогиба от напряжения при изгибе образцов в машинном и поперечном направлении.

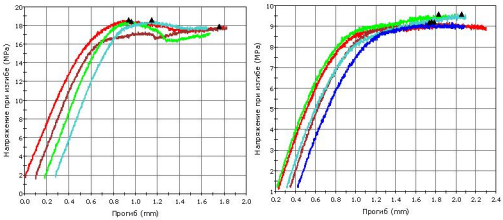


Рис. 3. Испытание образцов на растяжение:
а) машинном направлении, б) в поперечном направлении

Среднее значение нормального напряжения при изгибе образцов в машинном направлении составило – 18,03 MPa, при этом среднее значение прогиба – 1,067 мм.

Среднее значение нормального напряжения при изгибе образцов в поперечном направлении составило – 9,35 MPa, при этом среднее значение прогиба – 1,62 мм.

Список литературы

1. ГОСТ 1924-1-96
2. ГОСТ 1364.28-68
3. ГОСТ 32659-2014

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF MATERIAL CHARACTERISTICS

Karimova G.
Supervisor: I. Zakirov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(*Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Kazan*)

The paper presents the results of experimental investigations of paperboard tensile, static bending and apparent tensile strength when the interlaminar shear test method for short beam. To study the characteristics of the material used in the current Standards for each type of test. The tests were carried out on a test machine, which ensures a load measurement accuracy of 1 % of the measured value and constant speed of sliding clamps.

УДК 621.9.529

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Колесников Д.Н., Ерахмадов С.Н.
Научный руководитель: С.В. Курынцев, канд. экон. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

В данной статье рассмотрены перспективы аддитивных технологий и их роль в производстве, возможность практического применения лазерной сварки различных деталей полученных при помощи аддитивных технологий, с целью оптимизации производственных затрат, связанных с дороговизной изделий больших размеров, и возможность компоновки различных элементов состоящих их частей полученных различными способами.

Аддитивный метод построения элементов конструкций дал новые возможности, были сняты многие технологические ограничения, появилась возможность создать то, что было в принципе невозможным ранее [1]. Стало реальным «построить» «деталь в детали», можно «вырастить» деталь с меняющимися по толщине свойствами материала (так называемые градиентные материалы), можно создавать сетчатые элементы, которые затруднительно получить литьем или механообработкой. Несмотря на прогрессивность и на возможность удешевления производства изделий сложной формы, данный метод имеет свои недостатки, которые можно решить, комбинируя аддитивные технологии с литьем, штамповкой, прокаткой и с последующей сваркой элементов, в качестве способа сварки отлично подходит сварка лазерным лучом [2].

Проанализируем исследования, проведенные на тему сварки изделия полученного путем аддитивных технологий и высоколегированной стали. В работе [3] исследуется распределение микротвёрдости в сварных швах стали PH1 Selective Laser Melting (SLM) и про-

ката из стали 12Х18Н10Т (CR), полученных лазерным лучом, в зависимости от предварительной термической обработки. Данные твёрдости приведенный на рисунке 1.

Таблица 1

Химический состав материалов, %

Сталь	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Ti	Cu	Fe
12Х18Н 10Т	<0. 12	<0. 80	<2. 00	<0.0 20	<0. 035	18	10	<1. 0	–	68
SLM	<0. 07	<1	<1 %	<0.0 3	<0. 04	15	4.5	–	3.5	75

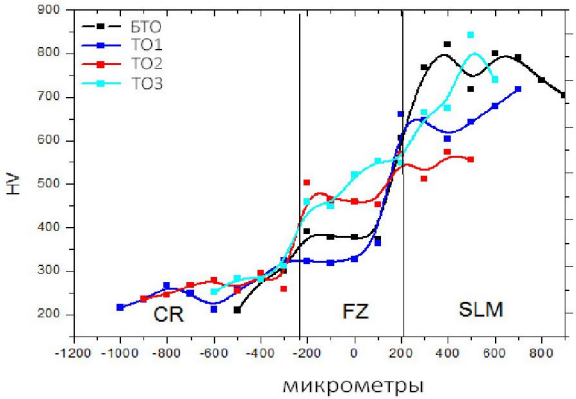


Рис. 1. Микротвердость сварного соединения:
CR – заготовка проката, FZ – зона сварки (сварной шов),
SLM –аддитивно выращенная деталь

На графике наглядно показано, что микротвёрдость сварного соединения изменяется на своем протяжении шва от одного значения твёрдости одного материала до второго, график изменений зависит от распределения материала деталей в сварном шве и термической обработки деталей.

При проведении экспериментальных работ использовалось оборудование LS-20 of “IPG – Photonics” оснащенной роботом KUKA KR 120 R 2700 extra HA, сварочной головой KUGLER GmbH,

LK-690. Сварочная установки и метод изображены на рисунке 2.

KUKA KR 120 R 2700 extra HA Метод выполнения СС

Рис. 2. Оборудование использованное при проведение эксперимента

Согласно данным статьи [3], сварка деталей из SLM и высоколегированной стали 12Х18Н10Т лазерной сваркой имеет ряд преимущество перед дуговой сваркой. Указывается, что после сварки отсутствуют деформации и дефекты при правильном выборе режима.

Вывод: Лазерная сварка, как метод объединения различных способов производства металлических деталей, позволит оптимизировать производство с точки зрения технологичности, что в последствии приведет к экономической выгоде, несмотря да дороговизну оборудования. Так же тема лазерной сварки имеет популярность в научных исследованиях, что говорит о большом накопленном опыте, в области сварки разнородных материалов.

Список литературы

1. *Зленко М.А.* Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.

2. *Курынцев С.В., Шиганов И.Н.* Современные тенденции лазерной сварки Обзор часть 2 // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2015. № 9. С. 15 – 20.

3. *Вулпе М.Н.* // Влияние предварительной термической обработки на твердость сварного шва при лазерной сварке // Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. – № 1. – 153 с.

4. *Курынцев С.В., Нагулин К.Ю., Горунов А.И.* // Наукоёмкие технологии в машиностроении. – 2016. – № 7. – С. 39–44.

Представленное исследование выполнено при поддержке Министерства Образования и Науки Российской Федерации в соответствии с постановлением 220, контракт № 14z50.31.0023.

POSSIBILITY OF USING LASER WELDING, FOR PRODUCTS OBTAINED BY ADDITIVE TECHNOLOGIES

Kolesnikov D., Erahmadov S.
Supervisor: S. Kuryntsev, cand. econ. sciences, associate professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan)

Prospects of additive technologies and their role in production, the possibility of practical application of laser welding of various parts obtained with the help of additive technologies are considered in order to optimize the production costs associated with the high cost of large-sized products and the possibility of assembling various elements of their constituent parts obtained in various ways.

УДК 621.762

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ЛИГАТУР NI-Si_3N_4 ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Куц А.В., Ручкина В.С., Кузина А.А.
(Самарский университет, г. Самара)

В работе приводятся результаты исследования прессования порошковой смеси, состоящей из порошка – носителя карбонильного никеля (Ni) с размером частиц 30 … 75 мкм с нанопорошком – модификатором нитрида кремния (Si_3N_4) с размером частиц до 100 нм, полученным по азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

В настоящее время алюминий и его сплавы используют практически во всех областях современной техники. Важнейшие потребители алюминия и его сплавов – авиационная и автомобильная отрасли промышленности, железнодорожный и водный транспорт, машиностроение, электротехническая промышленность и приборостроение, промышленное и гражданское строительство, химическая промышленность, производство предметов народного потребления. Использование алюминия и его сплавов во всех видах транспорта и в первую очередь – воздушного позволило решить задачу уменьшения собственной («мертвой») массы транспортных средств и резко увеличить эффективность их применения [1].

В современной металлургии повышение качества литого материала приводит к применению нанопорошков с размерами частиц менее 100 нм из тугоплавких соединений. При введении их в расплав они однородно распределяются по всему объему металла и служат гетерогенными затравками для образования кристаллической фазы [2 – 4].

Целью данной работы было исследование технологии прессования порошковых смесей Ni-Si_3N_4 для получения порошковых лигатур, предназначенных для последующего ввода в алюминиевый расплав.

Порошковые смеси, полученные при смешивании в течение

30…60 минут в планетарной центробежной мельнице «Пульверизетте - 5», содержали упрочняющие частицы карбида кремния в количестве 2,5…10 %.

Порошковые смеси указанных выше составов подвергали одностороннему холодному прессованию на гидравлическом прессе ПСУ-50 с давлением до 60 МПа. Получены порошковые лигатурные брикеты с относительной плотностью 70-85 %, диаметром 25 мм, высотой до 3 мм, массой 5 грамм. Определены зависимости относительной плотности и пористости полученных лигатурных брикетов.

Прессование исследуемых смесей необходимо проводить насыпкой порошка по весу, это позволяет обеспечивать постоянство плотности лигатурных брикетов [5, 6]. Таким образом, рассмотренные режимы прессования полученных в планетарной мельнице порошковых смесей Ni-Si_3N_4 позволяют получать порошковые лигатурные брикеты, состоящие из порошка – носителя (никель) и нанопорошка – модификатора (Si_3N_4), полученного по азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [7, 8].

Список литературы

1. *Луц А.Р.* Алюминиевые композиционные сплавы – сплавы будущего [Текст]: учебное пособие / А.Р. Луц, И.А. Галочкина. Самара: СамГТУ, 2013. – 82 с.

2. *Крушенко Г.Г.* Роль частиц нанопорошков при формировании структуры алюминиевых сплавов [Текст] / Г.Г. Крушенко // Металлургия машиностроения. – 2011. – № 1. – С. 20 – 24.

3. *Анисимов О.В.* Разработка металлокомпозитов на основе алюминия, упрочненных наночастицами тугоплавких соединений [Текст] / О.В. Анисимов, В.И. Костиков, Е.В. Лобачева, В.И. Пузик, Ю.В. Штанкин // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2011. – № 3. – С. 33 – 39.

4. *Напалков В.И.* Легирование и модифицирование алюминия и магния [Текст] / В.И.Напалков, С.В.Махов. – М.: МИСИС, 2002. – 202 с.

5. *Анциферов В.Н.* Порошковая металлургия и напыленные покрытия [Текст] / В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин. –

М.: Металлургия, 1987. – 792 с.

6. *Кузина А.А.* Получение нанопорошковых псевдолигатур Cu-(SiC+Si_3N_4) для модифицирования и армирования алюминиевых сплавов // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2016. № 5. С. 78 – 84. DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2016-5-78-84.

7. *Амосов А.П.* Азидная технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза микро- и нанопорошков нитридов [Текст] / А.П. Амосов, Г.В. Бичуров. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 526 с.

8. *Titova Yu.V.* Self-propagating high-temperature synthesis of silicon carbide and silicon nitride nanopowders composition using sodium azide and halides [Text] / Yu.V. Titova, A.P. Amosov, G.V. Bichurov, D.A. Maidan // Eurasian chemico-technological Journal. – 2014. – № 16. – P. 41 – 48.

OBTAINING POWDER LIGATURE NI-Si_3N_4 FOR MODIFICATION OF ALUMINUM ALLOYS

Kuts A., Ruchkina V., Kuzina A.
(Samara University, Samara)

The paper presents the results of study of the pressing of powder mixture, consisting of carbonyl nickel (Ni) carrier – powder with a particle size of 30 ... 75 μm with nanopowder – modifier of silicon nitride (Si_3N_4) with a particle size of up to 100 nm, obtained by azide technology of self-propagating high-temperature synthesis (SHS).

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СМЕШИВАНИЯ НА СВОЙСТВА ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ NI-SI_3N_4

Ручкина В.С., Куц А.В., Кузина А.А.
(Самарский университет, г. Самара)

В работе исследовано влияние механического смешивания порошковых композиций, в которых в качестве порошка – носителя использовался порошок карбонильного никеля, а в качестве нанопорошка – модификатора (нитрид кремния, полученный методом СВС).

В практике порошковой металлургии смешивание является одной из важных операций при изготовлении материалов и изделий из порошков. Равномерность смешивания порошков оказывает важное влияние на качество готовой продукции. В связи с этим операции смешивания, несмотря на простоту оборудования, следует уделять большое внимание. Наиболее важной задачей этого технологического этапа является превращение совокупности частиц твердых компонентов в однородную смесь. Однородными считают порошки, в каждой единице объема которых состав и взаимное распределение компонентов одинаковы. Основные показатели режима смешивания, такие как тип помола (сухой или мокрый), коэффициент заполнения объема мельницы размольными телами и измельчаемым материалом, соотношение между ними, обычно устанавливают экспериментально с учетом свойств измельчаемого материала и требуемой тонины помола. Материалом для размольных тел чаще всего служит сталь или твердые сплавы. Время смешивания компонентов может изменяться от нескольких минут до нескольких часов [1, 2, 3].

В последнее время для смешивания металлических и неметаллических порошков применяются различные виды смесителей. Выбор типа смесителя, прежде всего, зависит от желаемой формы и размера частиц порошка полученного после смешивания. Например, смешивание порошковых композиций в планетарной центробежной мельнице (ПЦМ), использование которой позволяет производить

тонкое измельчение трудно-размалываемых и смешиваемых материалов во много раз быстрее, чем в обычных шаровых, вихревых и вибрационных мельницах [1]. Основным недостатком которых является высокая энергозатратность, загрязнение смешиваемого материала и неоднородность смеси полученных композиций [1, 2, 3].

При определении результатов смешивания необходимо контролировать равномерность перемешивания компонентов и стабильность технологических параметров смеси (насыпную массу, прессуемость, текучесть и др.), что крайне важно в процессах приготовления лигатур и готовых изделий [1, 2, 3].

Целью данной работы было исследование влияния режимов механического смешивания порошков Ni-Si_3N_4 на технологические свойства смесей, предназначенных для получения лигатурных брикетов для модифицирования алюминиевых сплавов.

Исходными компонентами для приготовления смеси были: порошок – носитель никель с размером частиц до 75 мкм и нанопорошок Si_3N_4 с размером частиц до 100 нм [4].

Прочность лигатурных брикетов в значительной степени зависит от качества смешивания исходных шихтовых компонентов. Поэтому необходимо контролировать равномерность распределения частиц по фракциям, химический состав и технологические свойства смесей (текучесть, насыпную массу, прессуемость и др.), что имеет большое практическое значение в процессах приготовления лигатурных брикетов [5].

Механическое смешивание осуществлялось в течение 30…60 минут в планетарной мельнице «Пульверизетте-5». Были получены следующие составы порошковых смесей для последующего компактирования: Ni-(2,5…10 %)Si_3N_4 с размером частиц до 60 мкм.

Определены некоторые физико-технологические свойства полученных порошковых смесей – такие, как гранулометрический состав, плотность, насыпная масса, текучесть. Так, с увеличением времени смешивания в исследуемых порошковых композициях наблюдается уменьшение размера частиц и насыпной массы, а также снижение плотности за счет повышения содержания порошковых частиц нитрида кремния. Однако все исследуемые порошковые смеси не обладают текучестью.

Список литературы

1. *Кипарисов С.С.* Порошковая металлургия [Текст] / С.С. Кипарисов, Г.А. Либенсон. – М.: Металлургия, 1980. – 490 с.

2. *Либенсон Г.А.* Производство порошковых изделий [Текст] / Г.А. Либенсон. – М.: Металлургия, 1990. – 240 с.

3. *Либенсон Г.А.* Основы порошковой металлургии [Текст] / Г.А. Либенсон. – М.: Металлургия, 1975. – 200 с.

4. *Titova Yu.V.* Self-propagating high-temperature synthesis of silicon carbide and silicon nitride nanopowders composition using sodium azide and halides [Text] / Yu.V. Titova, A.P. Amosov, G.V. Bichurov, D.A. Maidan // Eurasian chemico-technological Journal. – 2014. – № 16. – P. 41–48.

5. *Kuzina A.A.* Obtaining nanopowder ligature briquettes Ni-($SiC+Si_3N_4$) for modification of aluminum alloys [Text] / A.A. Kuzina, V.S. Ruchkina // Key Engineering Materials. Switzerland. – 2016. – Vol. 685. – P. 558–562.

EFFECT OF MIXING MODES ON THE PROPERTIES OF POWDER COMPOSITIONS NI-SI_3N_4

Ruchkina V., Kuts A., Kuzina A.
(Samara University, Samara)

The influence of mechanical mixing of powder compositions, in which the carbonyl nickel powder was used as the carrier – powder, and the nanopowder - modifier (silicon nitride, obtained by the SHS method) was studied.

УДК 621.791

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ В СВАРКЕ

Мухамадеев И.М., Низамов Р.А., Новиков А.В.
Научный руководитель: А.В. Беляев, к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

В докладе рассматривается возможность применения аппаратно-программных средств разработки «Arduino» в сварочном производстве. Показана возможность их применения для оценки изменения температуры при сварке.

Сварка является одним из основных технологических процессов получения неразъемных соединений в машиностроении, в том числе, авиа- и ракетостроении. Сегодня сваркой соединяют металлические и неметаллические материалы такие как титан, молибден, ниобий, композиционные материалы, керамику. Толщины свариваемых деталей варьируются в пределах от нескольких микрон до нескольких метров.

В процессе сварки протекают различные процессы, например, физико-химические, металлургические, тепловые и др. В частности, при сварке различные зоны сварного соединения нагреваются до температур, оказывающих влияние на состав, структуру и служебные свойства соединения.

Для определения изменения температуры при сварке применяются расчетные и экспериментальные методы. Расчетные методы основаны на общем уравнении теплопроводности и описаны в трудах Фролова В.В., Петрова Г.Л., Багрянского К.В., Неровного В.М. [1]. Для случая трехмерного тела при отсутствии теплообмена с окружающим пространством:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\rho}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) = a\nabla^2 T\,,$$

где $\nabla^2 T$ – оператор Лапласа; $a = \lambda/c\rho$ – коэффициент температуропроводности.

Программно расчетные методы реализованы в таких комплексах как «ANSYS», «SYSWELD» и др.

Для экспериментального определения температуры используются контактные и бесконтактные средства: тепловизоры, оптические пирометры, термопары и термокраски, индикаторы температуры. В сварке они применяются, например, для оценки изменения температуры в зоне термического влияния, скоростей нагрева и охлаждения и др. Так распределение температуры в разные моменты времени позволяет спрогнозировать изменение структуры различных участков сварного соединения, выбрать оптимальные параметры режима, выбрать вид и режимы термической обработки и т.д. [2, 3].

Одним из наиболее распространенных средств измерения температуры ввиду высокой точности (± 0,01°С при максимальных температурах до +1750°С) являются термопары, которые представляют собой термоэлектрический преобразователь, сигналы с которого могут быть зарегистрированы с помощью платформ для быстрой разработки и программирования устройств типа «Arduino».

Максимальная частота дискретизации в данном случае составляет 10 кГц, что вполне достаточно для измерений в большинстве способов сварки. С помощью «монитора порта» можно получить сигналы с термопар и программно преобразовать в температуру после юстировки. Функция «analogRead» может быть использована для 6 каналов у большинства плат «Arduino». Термо-ЭДС термопар могут быть преобразованы аналого-цифровыми преобразователями (АЦП), в том числе многоканальными, и успешно обработаны на ЭВМ. Подобным образом могут быть подключены и другие аналоговые датчики, инфракрасные и калибруемые измерительные преобразователи с различной степенью защиты. Для измерения температуры в промышленном производстве могут быть использованы цифровые, высокоточные и компактные измерители температуры, в том числе и взрывозащищенные, поддерживающие различные протоколы.

В настоящее время выпускаемые платы типа «Arduino» поддерживают передачу данных посредством технологии «Bluetooth», «Wi-Fi», что позволяет удаленно передавать данные с платы на персональный компьютер. Другими словами, существует возможность создания «Wi-Fi термопары».

Таким образом, для определения температуры при сварке возможно практическое применение различных видов плат разработки типа «Arduino», а также различных датчиков для них. Отметим, что наиболее рациональным является подход, когда наряду с расчетными используются экспериментальные методы определения температуры. Решение об их использовании в конкретном случае принимается в зависимости от объекта исследования и постановки тепловой задачи.

Список литературы

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Неровный, Б.Ф. Якушин; Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 749 с.

2. *Беляев А.В.* Обзор экспериментальных методов определения температуры при сварке [Текст] / А.В. Беляев, Э.Р. Галимов, И.В. Акулин // Современные проблемы сварочного производства: сборник научных трудов / под ред.: М.А. Иванова, И.А. Ильина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – С. 42–46.

3. *Беляев А.В.* Расчетно-экспериментальные методы определения температуры при сварке [Текст] / А.В. Беляев, Э.Р. Галимов, Р.А. Низамов // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2016» (МНТК «ИМТОМ–2016»). Ч. 2. Казань, 2016. – С. 187–191.

APPLICATION OF HARDWARE AND SOFTWARE DEVELOPMENT TOOLS IN THE WELDING

Mukhamadeev I., Nizamov R., Novikov A.
Supervisor: A. Belyaev, PhD

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

The report considers the possibility of using hardware and software development tools "Arduino" in welding production. The possibility of their application for estimating the change in temperature during welding was shown.

УДК 544.725.2

РАЗРАБОТКА ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Низамов А.А.
Научный руководитель: Р.С. Давлетбаев,
докт. хим. наук, профессор
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань*)

Использование для синтеза полимерных мембран полиоксиэтиленгликоля и 4,4'-дигидрокси-2,2-дифенилпропана позволяет получать от газонепроницаемых пленочных материалов до мембран с высокими значениями проницаемости в сочетании с высокой селективностью при разделении газовых смесей.

Высокие прочностные характеристики, термостабильность и стойкость к воздействию органических и щелочных сред, особенности химического строения аминоэфиров борной кислоты, полученных с использованием полиоксиэтиленгликоля (АЭБК-ПЭГ) и аминоэфиров борной кислоты, полученных с использованием полиоксиэтиленгликоля и 4,4'-дигидрокси-2,2-дифенилпропана (АЭБК-ПЭГ-БФ) [1] предполагают перспективность исследования газотранспортных свойств разработанных полимерных пленочных материалов.

Полимеры, полученные на основе АЭБК-ПЭГ и полиизоцианата (ПИЦ), проявляют исключительно высокую газонепроницаемость. Так, значение их газопроницаемости лежит в области меньшей 10^{-9} баррер. Столь низкая газопроницаемость отражает особенности архитектуры макромолекул и подтверждает выводы об их очень плотной упаковке и наличии в гиперразветвленной структуре разделенных ионных пар, обуславливающих высокие когезионные взаимодействия [2].

Для синтеза АЭБК-ПЭГ-БФ были использованы два подхода. В одном случае 4,4'-дигидрокси-2,2-дифенилпропан (БФ) вводился

на первой стадии синтеза, когда молекулы БФ с наибольшей вероятностью должны располагаться во внутренней составляющей структуры АЭБК-БФ. В другом варианте БФ вводился на второй стадии синтеза, приводя к значительным изменениям архитектуры АЭБК-ПЭГ-БФ [3].

Полимеры на основе АЭБК-ПЭГ-БФ, синтезированные по этим двум методикам были исследованы в качестве газоразделительных мембран. Компонентами для этих целей явились диоксид углерода, метан и аммиак.

Оказалось, что полимеры, полученные на основе АЭБК-ПЭГ-БФ, проявляют газотранспортные свойства (табл. 1 и 2). При этом наиболее высокая газопроницаемость достигается в случае, когда БФ вводится на первой стадии синтеза АЭБК-ПЭГ-БФ. Это обстоятельство отражает значительное влияние БФ на геометрию макромолекулярной архитектуры аминоэфиров борной кислоты.

Таблица 1

Значения коэффициента проницаемости газов через пленочные полимерные материалы, полученные на основе АЭБК-ПЭГ-БФ (БФ введен на I стадии) и ПИЦ в массовом соотношении 1:1

p_1 [атм.]	P [баррер]		
	БФ введен на I стадии		
	NH_3	CO_2	CH_4
1	110373±2001	90043±7362	122011±9381
2	168429±4279	83751±5817	111512±4855
3	133963±6036	71699±3344	116088±12061
2	19217±157	70592±6597	123785±11371
1	20022±930	71111±2178	105428±6674

Для анализа влияния давления на транспорт молекул аммиака, углекислого газа и метана их проницаемость через полимерные мембраны определялась при трех разных давлениях питающего потока (1 атм., 2 атм., 3 атм). Величина давления за мембраной составляла 0,002 атм. С увеличением давления происходит рост проницаемости, а при его последующем уменьшении проницаемость падает

вследствие пластифицирующего действия газообразных соединений.

Таблица 2

Значения коэффициента проницаемости газов через пленочные полимерные материалы, полученные на основе АЭБК-ПЭГ-БФ (БФ введен на II стадии) и ПИЦ в массовом соотношении 1:1

p_1 [атм.]	P [баррер]	
	БФ введен на II стадии	
	CH_4	CO_2
1	20268±1 625	11439±478
2	28874±5 119	11686±117
3	18385±952	10692±191
2	14737±1 028	11032±163
1	23964±721	13585±554

Важным результатом проведенных исследований явилось то, что значение идеального коэффициента разделения (α) при разделении метана и аммиака достигает 6.4, а метана и углекислого газа 2,5 (табл. 3).

Известной закономерностью является то, что эластичные полимерные мембраны обладают более высокой по сравнению со стеклообразными полимерами проницаемостью, но значительно меньшей газоселективностью. В случае стеклообразных полимерных мембранных материалов наблюдается обратная картина. Полимеры, полученные на основе АЭБК-ПЭГ-БФ и полиизоцианатов, проявляют свойства пластиков и демонстрируют возможность достижения высокой проницаемости в сочетании с относительно высокой селективностью.

Таблица 3

Значения идеальной селективности для систем метан-газ для пленочного полимерного материала, полученные на основе АЭБК-ПЭГ-БФ и ПИЦ в массовом соотношении 1:1

p_1 [атм.]	α(CH_4/газ)

	БФ введен на I стадии		БФ введен на II стадии
	CO_2	NH_3	CO_2
1	1.4±0.1	1.1±0.1	1.8±0.1
2	1.3±0.1	0.7±0.1	2.5±0.1
3	1.6±0.1	0.9±0.1	1.7±0.1
2	1.8±0.1	6.4±1.0	1.3±0.1
1	1.5±0.1	5.3±0.1	1.8±0.1

Таким образом, полимеры, полученные на основе АЭБК-ПЭГ-БФ и ароматических изоцианатов, проявляют высокие значения проницаемости в сочетании с относительно высокой селективностью при разделении газовых смесей, содержащих аммиак.

Список литературы

1. Синтез и исследование аминоэфиров борной кислоты / Емелина О.Ю., Давлетбаев Р.С., Давлетбаева И.М., Мельникова И.А. // Вестник КГТУ, 2012, № 9, С.49–51.

2. Газотранспортные свойства полимеров на основе аминоэфиров борной кислоты / Давлетбаев Р.С., Емелина О.Ю., Воротынцев И.В., Давлетбаева И.М., Абдрахманов Т.Н. // Вестник Казанского технологического университета, 2012, № 10, С. 114–116.

3. Synthesis and properties of novel polyurethanes based on amino ethers of boron acid for gas separation membranes / I. M. Davletbaeva, O. Yu. Emelina, I. V. Vorotyntsev, R. S. Davletbaev, E. S. Grebennikova, A. N. Petukhov, A. I. Ahkmetshina, T. S. Sazanova, V. V. Loskutov // RSC Adv. – 2015. – Vol. 5. – pp. 65674-65683.

DEVELOPMENT OF GAS DISTRIBUTION POLYMER MEMBRANE MATERIALS

Nizamov A.

Supervisor: R. Davletbaev, Doctor of Chemical Sciences, Professor

(*Kazan Nationl Research Technical*

University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

The use of polyoxyethylene glycol and 4,4'-dihydroxy-2,2-diphenylpropane for the synthesis of polymer membranes makes it possible to obtain from gas-impermeable film materials to membranes with high permeability values combined with high selectivity in the separation of gas mixtures.

УДК 621.762

ИССЛЕДОВАНИЕ БОРИРОВАНИЯ СПЛАВОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Одарченко В.И., Казначеева Д.А., Щербаков В.Г.
Научный руководитель: В.Г. Щербаков
(Белорусский национальный технический университет, г. Минск)

В статье исследована кинетика формирования диффузионных слоев на армко-железе, стали У8, чугуна СЧ20 и стали Х12 при борировании в порошковых средах полученных методом металлотермии. Установлен значительный рост толщины диффузионных слоев на сплавах при повышении температуры насыщения.

Борирование – один из наиболее эффективных и перспективных методов упрочнения поверхности для повышения срока службы деталей [1]. Упрочнение при борировании металлов и сплавов происходит в результате образования на обрабатываемой поверхности металлоподобных соединений – боридов. Металлоподобными эти соединения называют потому, что наряду со свойствами, нехарактерными для металлов (очень высокой твердостью и незначительной способностью к пластической деформации), бориды обладают свойствами, характерными для металлического состояния вещества, – высокой электро- и теплопроводностью, термоэмиссией, металлическим блеском. Насыщение бором значительно увеличивает поверхностную твердость, жаростойкость и коррозионную стойкость [1]. Наиболее распространена технология борирования в контейнерах, заполненными порошками аморфного бора, карбида бора, ферробора, ферроборала и буры.

Изменением состава смеси и параметров обработки этот метод позволяет получить защитный слой, состоящий из двух интерметаллидных фаз (снаружи FeB, внутри Fe_2B) или только из одной фазы (Fe_2B) [1]. Борирование проводят в печах различного типа: камерных, шахтных, муфельных и др. Процесс осуществляется в интервале температур 800…1100 °С с выдержкой от 30 мин до 8…12 ч в

зависимости от марки стали и требуемой глубины насыщения. Из известных в настоящее время насыщающих сред для твердого борирования наибольший интерес представляют порошковые смеси на основе технического карбида бора или металлоподобные смеси. Первые технологичнее, а вторые значительно дешевле при той же насыщающей способности [2].

В качестве насыщаемого материала были выбраны пластинки из армко-железа, стали У8, чугуна СЧ20 и стали Х12. Химический состав исследуемых сплавов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Марки сплавов и химический состав

Сплав	Химический состав, 5 масс.							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Fe
Армко-Fe	-	-	-	-	-	-	-	Осн.
У8	0,75…0,84	0,17…0,33	0,17…0,33	0,2	0,25	0,028	0,030	Осн.
СЧ20	3,3…3,5	1,4…2,4	0,7…1,0	-	-	0,2	0,15	Осн.
Х12	2,0…2,2	0,1…0,4	0,15…0,45	11,5…13,0	-	-	-	Осн.

Насыщающей средой являлась порошковая смесь для термодиффузионного однофазного борирования, разработанная сотрудниками НИЛ упрочнения стальных изделий, Белорусского национального технического университета [3]. Обработку проводили при температурах 650, 750, 850 и 950 °С, продолжительность выдержки – 4 часа. Микрошлифы для микроанализа изготавливались по стандартным методикам. Анализ микроструктуры проводили на микроскопе Altami с различными увеличениями. Микротвердость измеряли с помощью микротвердомера ПМТ-3.

Анализ литературных данных [4-5] позволил установить, что при борировании на углеродистых сплавах существенное влияние оказывает исходный химический состав сплава и температурно-временных параметры обработки.

Любой борированный слой, в том числе и двухфазный, состоит из двух зон: зоны боридов и переходной зоны – зоны твердого

раствора бора в железе. Существенное влияние на соотношение боридных фаз в слое оказывают легирующие элементы. Кремний, молибден, вольфрам, титан, хром, никель и марганец увеличивают относительное содержание в слое борида FeB, а углерод, алюминий и медь – уменьшают.

Микротвердость боридов FeB и Fe_2B в двухфазном боридном слое на армко-железе (при нагрузке на инденторе 0,98Н) равна соответственно 19200…20600 и 13500…14200 МПа. Увеличение содержания углерода в стали снижает твердость борида FeB и практически не влияет на твердость Fe_2B. Микротвердость борида Fe_2B в однофазном боридном слое несколько выше, чем в двухфазном, и составляет 13700…16200 МПа. С увеличением содержания углерода в стали поверхностная твердость однофазного боридного слоя понижается.

Борирование чугунов получило значительно меньшее промышленное распространение, чем борирование сталей, поэтому и закономерности их насыщения бором изучены менее детально [6]. Борированный слой серых, ковких и высокопрочных чугунов состоит из двух зон: боридной, имеющей характерное игольчатое строение, и переходной, включающей в себя α-фазу, выделения борного цементита $Fe_3(C, B)$ и графита. Толщина переходной зоны совпадает с глубиной проникновения бора в аустените при температуре насыщения и значительно превосходит толщину зоны α-фазы и $Fe_3(C, B)$. В боридной зоне сохраняются включения исходного (существовавшего до насыщения) графита [6].

Твердость однофазных диффузионных слоев на армко-железе составляет порядка 14000…16000 МПа, на стали У8 – 12000…14000 МПа, на чугуне СЧ20 – 10000…12000 МПа и на стали Х12 9000…11000 МПа. Установлено, что при росте температуры борирования существенно возрастает толщина диффузионного слоя на обрабатываемых сплавах (рис. 1).

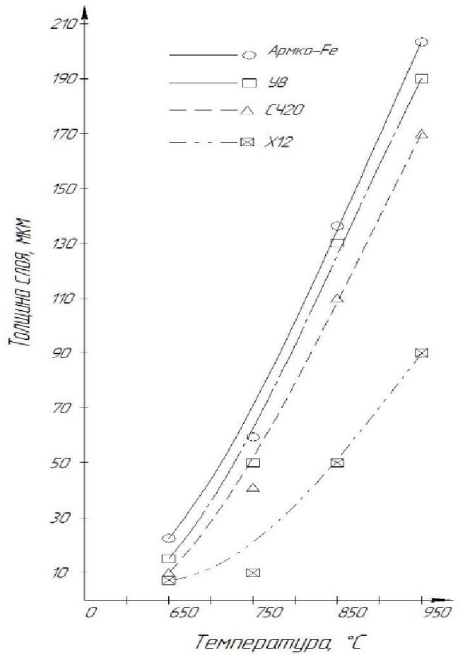


Рис. 1. Толщины диффузионных слоев на сплавах после борирования в порошковой смеси для однофазного борирования

Таким образом, установлено, что одним из возможных методов регулирования толщины диффузионных слоев на обрабатываемых материалах является снижение температуры насыщения. Данная обработка целесообразна для деталей специфического назначения и порошковых материалов, условия, работы которых подразумевают наличие диффузионного защитного боридного слоя определенной толщины. Наличие боридного слоя определенной толщины при низкотемпературной обработке в порошковых насыщающих средах имеет минимальное влияние на сердцевину обработанного изделия и позволяет заранее прогнозировать получаемые после химико-термической обработки эксплуатационные свойства готового изделия.

Список литературы

1. *Войнов Б.А.* Износостойкие сплавы и покрытия. – М.: Машиностроение, 1980. – 120 с.

2. *Борисенок Г.В.* Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник / Г.В. Борисенок [и др.] М.: Металлургия, 1981. – 424 с.

3. Термодиффузионная поверхностная обработка [Электронный ресурс] / Борирование – режим доступа: http://www.besto.by/vidy-obrabotok/borirovanie – Дата доступа 20.03.2017.

4. *Лабунец В.Ф.* и др. Износостойкие боридные покрытия / В.Ф. Лабунец, Л.Г. Ворошнин, М.В. Киндрачук. – К.: Тэхника, 1989. – 158 с.

5. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник. Борисенок Г.В., Васильев Л.А., Ворошнин Л.Г. и др. М.: Металлургия, 1981. 424 с.

6. *Ворошнин Л.Г.* Борирование промышленных сталей и чугунов: (Справ. пособие). – Мн.: Беларусь, 1981. – 205 с.

INVESTIGATION OF ALLOYS WITH IRON BASIS SUBJECTED TO BORIDING TREATMENT AT DIFFERENT TEMPERATURES

Odarchenko V., Kaznacheeva D., Scsherbakou V.
Supervisor: V. Scsherbakou
(*Belarusian National Technical University, Minsk*)

The article reveals the investigation concerning the kinetic of diffusion layers formation on armco-iron, У8 (W1-7, 1.1625, SK5), СЧ20 iron (A48-30B, GG20, FC20), and X12 steel (D3, 1.2060, SKD1) subjected to boriding treatment in powder mixtures, that was previously obtained using metallothermic process. It was established that the rise of saturating temperature leads to significant increase in the thickness of the diffusion layers on treated alloys.

УДК 656.13.054

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Сайфутдинова А.А.
Научный руководитель: Э.Р. Галимов, докт. техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ», г. Казань)

Рассмотрены различные способы измерения оптических характеристик световозвращающих покрытий (СВП). Экспериментально измерены индикатрисы рассеяния для сравнения разработанных образцов на кафедре с эталонным образцом фирмы «3М».

Имеется световозвращающее покрытие (рисунок 1), структура которого состоит из: подложки, связующего слоя, отражающего слоя, световозвращающих элементов (стеклянные микросферы или уголковые отражатели), закрепляющего слоя и защитного слоя. Эффект световозвращения в таких покрытиях достигается за счет световозвращающих элементов.

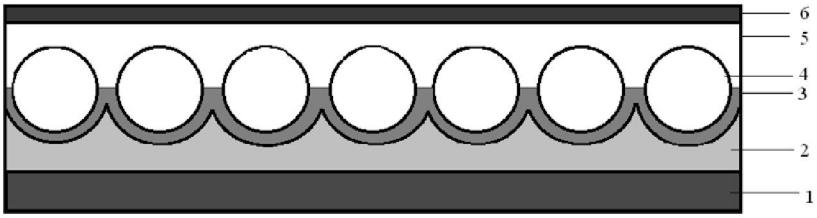


Рис. 1. Структурный состав световозвращающего покрытия с использованием микросфер:
1 – защитная подложка, 2 – клеевой слой, 3 – отражающий слой, 4 – стеклянные микросферы, 5 – крепежная основа, 6 – защитная пленка

Рассмотрим принцип действия световозвращения на примере

хода лучей света, падающих на поверхность стеклянной сферической линзы (рисунок 2). Микросферы получают из стекла, керамики, полимеров, главным образом, путем введения порообразователя в основной материал, последующего измельчения до нужных размеров и нагревания для вспенивания. Так, например, полые микросферы получают путем пропусканий мелких частиц, содержащих порофор, через высокотемпературную зону; частицы плавятся или размягчаются в горячей зоне, а газообразователь формирует полость внутри частиц, расширяя их. При охлаждении сферы на воздухе стенки ее затвердевают.

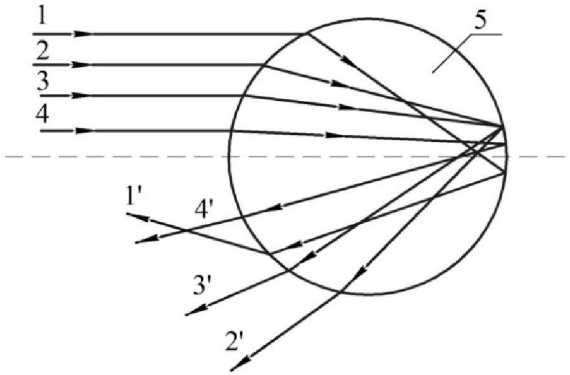


Рис. 3. Ход лучей через сферическую микролинзу

В отличие от микросферических отражательных элементов, эффект световозвращения микропризматических пленок основан на эффекте полного отражения в уголковом отражателе (рисунок 4). В таких пленках гораздо меньше преломлений, а геометрия светоотражающего элемента позволяет направить падающий свет с гораздо большей точностью обратно к источнику, чем в пленках на основе стеклянных шариков.

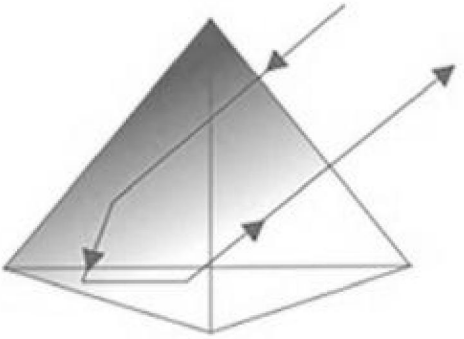


Рис. 4. Ход лучей на уголковом отражателе

Такие элементы в литературных источниках принято называть «трипель-призмы». Несмотря на высокую интенсивность отраженного от такой поверхности луча света и яркости поверхности, такие покрытия имеют свои недостатки. Ранее проведенные на кафедре исследования их оптических характеристик и на основании результатов измерений в известной работе угол расхождения излучения таких поверхностей находится только в пределах ±18°.

Свет, отраженный от поверхности световозвращающего покрытия, может быть описан индикатрисой рассеяния, измерив которую можно судить о структуре рельефа данной поверхности. Это свойство используется для определения формы покрытий различных материалов. К примеру, это свойство применяется в оптике, для контроля элементов с нанесенным периодическим микрорельефом.

В связи с этим была выполнена работа по изучению оптических характеристик световозвращающих покрытий, выполненных различными способами с использованием микросферических стеклянных шариков для больших углов падения света. Для отработки технологии и изготовления образцов со световозвращающим эффектом, путем калибровки были выбраны микросферические стеклянные шарики в диапазоне от 45 мкм до 120 мкм. После измерения и сравнения интенсивности отражения серий образцов были выбраны микросферы с размерами от 50 мкм до 70 мкм. Образцы, изготов-

ленные с использованием таких микросфер, показали наиболее высокие оптические характеристики.

На стенде для измерения индикатрисы отраженного рассеянного света, источником излучения служит полупроводниковый лазер с длиной волны 635 нм. Схема экспериментального стенда представлена на рисунке 5. Оптическое излучение лазера через отверстие в объемном рассеивающем экране падает на исследуемый элемент, который устанавливается на X-Y координатном столике. Индикатриса рассеяния проецируется на внутреннюю поверхность объемного экрана, рассеянный свет с которого фиксируется видеокамерой. Полученные данные обрабатываются управляющим компьютером, что позволяет получить индикатрису рассеяния света.

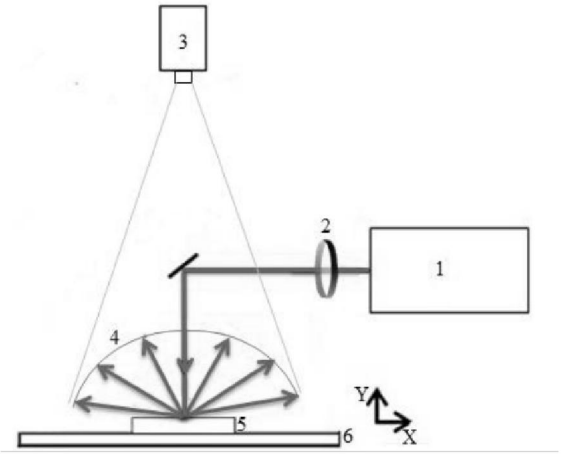


Рис. 5. Схема измерения индикатрисы рассеяния света:
1 – источник излучения; 2 – фокусирующая линза;
3 – видеокамера; 4 – объемный рассеивающий экран;
5 – исследуемый объект; 6 – X-Y координатный столик

Также, существует способ измерения параметров световозвращения, который включает: освещение образца, регистрацию отраженного излучения, усреднение измерений по различным точкам образца.

При расчете светотехнических характеристик имеется возможность более точно по сравнению с обычными методами расчета задать исходные данные: учесть различную угловую расходимость диффузного фона и световозвращенной составляющей индикатрисы рассеяния, соответственно – получить более точный результат.

Данный способ основан на использовании свойств диффузной, зеркальной и световозвращаемой составляющих индикатрисы рассеяния: при изменении угла освещения угол наблюдения первых двух составляющих смещается в соответствии с законом отражения, а световозвращенная составляющая – всегда наблюдается при углах, близких к углу обратного отражения. Способ, учитывающий объективно световозвращающую составляющую, был опробован на экспериментальной установке, схема которой приведена на рисунке 6.

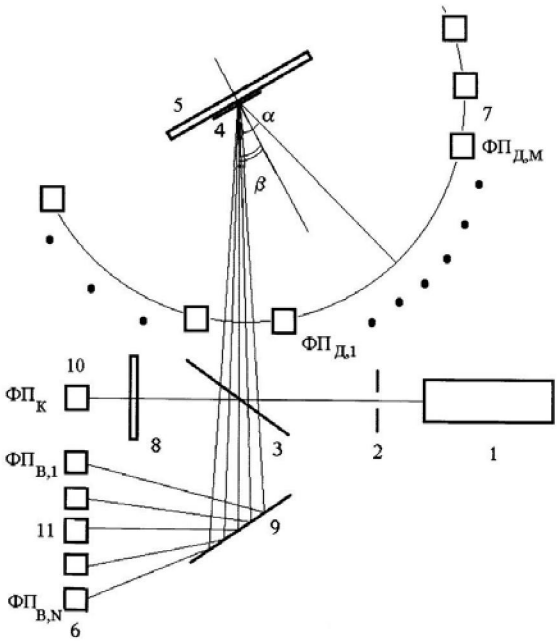


Рис. 6. Схема экспериментальной установки:
1 – луч полупроводникового лазера, 2 – ограничивающая ирисовая диафрагма, 3 – полупрозрачное зеркало, 4 – исследуемый образец,

5 – подвижка, 6, 7, 10, 11 – фотоприемник,
8 – фильтр, 9 – «глухое» зеркало

С помощью этого способа имеется возможность измерять оптические характеристики объектов, измерять величины и диаграммы направленности световозвращения различных материалов и световозвращающих устройств.

Также, проводились измерения на специальном стенде, изготовленном на кафедре.

Данная методика измерения показателей световозвращения образцов состоит в том, что исследуемый образец устанавливается на поворотном столике, на который устанавливается осветитель. Путем поворота столика обеспечивается изменение угла направления отраженного светового потока (при неподвижных фотоприемных частях установки). По ходу оптического луча устанавливается электромеханический модулятор (угловая частота 200-400 Гц), затем диафрагма и фотоприемники. Усилитель обеспечивает измерение сигнала фотоприемника.

Результаты измерений световозвращающих характеристик, таких как, индикатриса рассеяния, представлены в виде графиков (рисунки 7, 8). Сравниваются эталонный образец световозвращающего покрытия (покрытия со световозвращающими микросферами фирмы «3М») и образцы, созданные на кафедре (покрытия, на основе микросфер «Инотек», «Клин»).

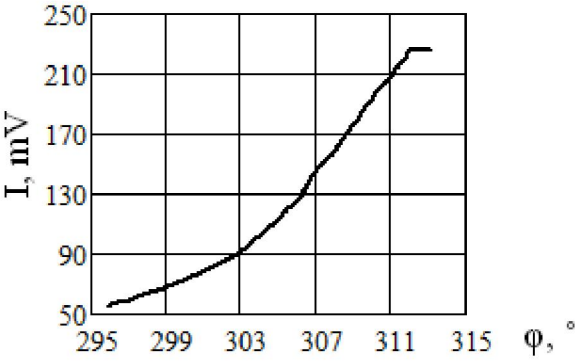


Рис. 7. График индикатрисы рассеяния образца «3М»:
I – интенсивность световозвращения, φ – угол падения луча света

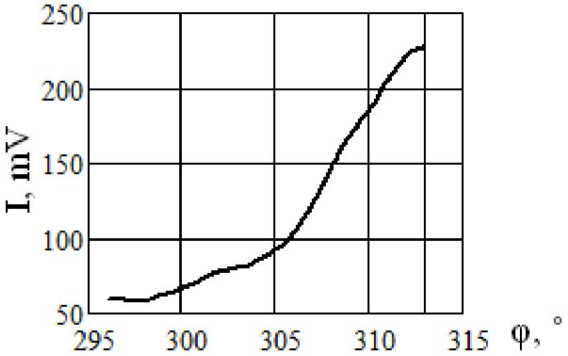


Рис. 8. График индикатрисы рассеяния образца,
полученного на кафедре:
I – интенсивность световозвращения, φ – угол падения луча света

Выводы

Изучены различные способы измерения оптических характеристик световозвращающих покрытий. В результате экспериментальных работ были измерены индикатрисы рассеяния образцов СВП. Целью данных экспериментов является создание покрытий,

максимально схожих с эталонными покрытиями на основе стеклянных микросфер фирмы «3М».

Список литературы

1. Патент РФ № 2003112108/04, 24.04.2003. Антикоррозионное и теплоизоляционное покрытие на основе полых микросфер // Патент России № 2251563. 2005. / Беляев В. С.

2. Патент РФ № 2011133050/28,02.08.2011. Способ измерения параметров световозвращения // Патент России № 2497091. 2013. / Иванов Л. А., Кизеветтер Д. В., Малюгин В. И.

3. *Белоусов Д. А., Полещук А. Г., Хомутов В. Н.* Устройство для измерения индикатрисы рассеяния света структурированными поверхностями. Ж. «Интерэкспо Гео-Сибирь», Новосибирск, 2015 г., № 2(5). – С. 128–131.

RESEARCHING OF THE OPTICAL CHARACTERISCTICS OF RETROREFLECTIVE COATINGS

Sayfutdinova A.

Supervisor: E. Galimov, Doctor of Engineering Sciences, Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Different methods for measuring the optical characteristics of retroreflective coatings (RRC) are considered. Experimentally measured scattering indicatrices for comparison of the developed samples at the department with a reference sample of the firm "3M".

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА АНОДИРОВАНИЯ

Салимов Р.Р.
Научный руководитель: А.В. Черноглазова,
канд. техн. наук, доцент
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Рассмотрен процесс анодного оксидирования, влияние параметров технологического процесса, температуры электролита и плотности тока на толщину покрытия. Предложен метод анодирования в щавелевой кислоте, с целью возможности увеличения толщины и плотности покрытия.

Анодирование считается одним из основных методов защиты алюминия и его сплавов от коррозии. Анодная пленка имеет высокие защитные и адгезионные качества, является хорошим фундаментом для лакокрасочных покрытий. При анодном оксидировании алюминиевые детали опускают в электролит и соединяют с положительным полюсом источника тока. Во время протекания тока через электролит в аноде в активной форме выделяется кислород, который, взаимодействуя с алюминием, создает оксидную пленку. В отличие от гальванических металлических осадков прибавления анодного покрытия выходит не на внешней поверхности деталей, а под слоем раннего образовавшегося окисной пленки, т. е. на стыке алюминия с окисной пленкой.

При анодном оксидировании идут два противоположных процесса: электрохимическое образование окисной пленки и химическое разжижение ее в электролите. Толщина пленки зависит от расклада скоростей указанных процессов. Важным условием роста пленки является появление пор на наименее стабильных участках пленки при совместном действии тока и электролита. Через электролит, находящийся в порах пленки, осуществляется прохождение тока. Количество объема пор составляет примерно 30 % объема пленки. С увеличением толщины анодной пленки защитные свойства ее возрастают.

Для каждой температуры имеется наилучшая длительность

процесса анодного оксидирования, сокращающаяся с повышением температуры. Повышение времени процесса не приводит к утолщению окисной пленки, так как в этих ситуациях главную роль начинает играть процесс разжижения пленки, вследствие чего пленка становится разрыхлевшей и защитные свойства ее падают. Большая температура электролита и высокая плотность тока могут быть причиной появления рыхлой сползающей пленки. Ликвидирование перегрева электролита является одним из главных условий получения качественного покрытия.

В качестве усовершенствования технологического процесса было рекомендовано реализовать процесс анодирования в щавелевой кислоте. Данный процесс запрашивает больше химических и энергетических расходов, чем анодирование в серной кислоте. Все же, данный процесс позволяет обрести плотное покрытие больше 60 мкм (2,4 мил) в толщину без использования специальных технологий, поэтому толщина покрытия будет линейно расти, как в первые часы обработки. Есть четыре немецких типовых процесса анодирования с использованием раствора, имеющего 3–5 % щавелевой кислоты:

Eloxal GX являлся одним и главных процессов анодирования с постоянным током, плотность тока которого составила 10–20 А/квадратный фут (1-2 А/дм2) при электрическом напряжении 40–60 вольт. Этот раствор применяли при температуре 18–20°С в течение времени 40–60 минут. Покрытие, приобретенное вследствие этой операции, был желтый цвет на материалах из алюминия и сплавах, не содержащих тяжелых металлов, и имела хорошую износостойкость.

Способ Eloxal GXh служит улучшенным аналогом метода Eloxal GX. В этом методе температура была увеличена до 35°С, а напряжение имело 30-35 вольт. Время на обработку материалов сократилось до 25–35 минут, так как при высокой температуре нужная толщина покрытия может быть произведена быстрее, чем обычно. Обретенные покрытия стали практически бесцветными, а высокая пористость нового покрытия сделала метод GXh лучшим для покраски и фотографической обработки. Данное покрытие, впрочем, являлась на много мягче и тоньше, чем обычно.

Eloxal WX – это метод обработки с переменным током плотностью которого равна 20–30 А/квадратный фут (2-3 А/дм2 -) при напряжении тока 25–65 вольт. Температура раствора – 25–30° С, время обработки – 45–60 минут. Приобретаемое в этом случае покрытие стало гораздо мягче и обрело использование для анодирования проволоки и эластичной ленты. В процессе меняли анодную и катодную обработку, а напряжение потихоньку увеличивалось с 25 до 65 вольт. На материалах из алюминия анодное покрытие получилось желтоватого цвета, при этом оно было немного тусклее на сплавах, содержащих в себе тяжелые металлы.

Метод Eloxal WGX был смесью методом GX и WX. Для применения переменного и постоянного тока менялась в зависимости от нужного цвета и толщины покрытия. Как правило, регламент составлял 25–35 А/квадратный фут постоянного электрического тока при напряжении 35–65 вольт и 15–25 А/квадратный фут переменного электрического тока при напряжении 45–65 вольт (2.5-3ю5 А/дм2 постоянного тока и 1.5-2.5 А/дм2 переменного тока). Используемая температура была около 20–30°С, а время обработки – 15–25 минут. На материалах из сплава алюминия и марганца данное покрытие имело наибольшей износоустойчивостью. Ни один из перечисленных методов с использованием переменного тока не получил обширного распространения, из-за больших затрат, связанных с его применением.

В Японии процесс анодирования в щавелевой кислоте использовался на протяжении многих лет. Таджима описал главные условия использования этого метода. Обычный процесс был в получении 4 % (вес) раствора при плотности постоянного электрического тока 1-2 А/дм2 и температуре 25–35°С в течение времени около 35–85 минут при напряжении в 15–30 вольт и переменного тока при напряжении 60–100 вольт (с применением свинцовых или графитовых катодов при применение постоянного тока). В практику также добавили уплотнение покрытия при помощью парового давления в 52 кН/м2 в течение 35–65 минут после завершения процесса анодирования. После незначительной полировки покрытие образовывалось светло-золотой окрас.

В Великобритании и США время от времени приходят к методу анодирования, в растворе щавелевой кислоты с немного высоким кислотным содержанием (5–15 %). Такой электролит был главным в методе Alcan's Alcanodox. Электролит содержал около 85–100 г/л щавелевой кислоты. В зависимости от сплавов покрытие имело цвет от золотого до светло-бронзового. При усовершенствования было предложено применение постоянного тока, главным образом, прямоугольных импульсов тока с частотой 1–25 в секунду с показателями максимального тока до 26 А/дм2 (200 А/квадратный фут) и средней анодной плотностью тока 1,1–3,8 А/дм^2 (10–36 А/квадратный фут). При таких условиях анодное покрытие имело темные оттенки, а на исход сильно влияли показатели максимальной и средней плотности тока. При максимальной и средней плотности тока прлучали покрытие темно-бронзового и черного цвета.

Как и при анодировании в серной кислоте, так и в применение анодирования в щавелевой кислоте ванны должны быть полностью покрыты резиной, пластиком или свинцом, а эксплуатируемые электроды изготавливаются из нержавеющей стали, свинца, алюминия или графита. Источники питания, оборудование для смешивания и охлаждения сырья применяются те же, что и при анодировании в серной кислоте. Но при анодировании в щавелевой кислоте нужно более мощные выпрямители и охлаждающее оборудование.

Так как электролит не вызывает разъедание поверхности, щавелевую кислоту можно применять при работе с образцами, имеющими микротрещины и спайки. После процесса анодирования и промывки изделие можно обмакнуть в 1 % раствор аммиака или гидрокарбоната аммония.

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF ANODIZATION

Salimov R.
Supervisor: A. Chernoglazova, Degree and Title
(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The process of anodic oxidation, the effect of the parameters of the process, the temperature of the electrolyte and the current density on the coating thickness are considered. An anodizing method in oxalic acid is proposed, with the aim of increasing the thickness and density of the coating.

УДК 669.295

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОМОДУЛЬНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА ТЕРМОВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Слезов С.С., Бурнаев А.В., Сафарян А.И.
Научный руководитель: А.М. Мамонов,
докт. техн. наук, профессор
(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Получены экспериментальные данные о влиянии водорода на фазовый состав и структуру сплава Ti-8,7Al-1,5Zr-2,0Mo. Построена фазовая диаграмма системы сплав – водород в интервале концентраций водорода от исходной до 1,0 масс. % и температур от 20 до 1100°С. Разработаны и опробованы на образцах сплава технологические схемы и режимы термоводородной обработки, формирующие два типа структур – субмикрокристаллическую и бимодальную. Определены механические свойства сплава.

Одной из областей применения титановых сплавов с высоким модулем упругости, определяемым повышенным содержанием алюминия, является производство изделий медицинского назначения, в частности, хирургических инструментов.

К этим инструментам предъявляются высокие требования по коррозионной стойкости, твердости, удельной прочности, износостойкости и жесткости конструкции. Совокупность таких свойств достигается путем оптимизации структуры объема и поверхности материала.

Одной из наиболее перспективных комплексных технологий для титановых сплавов является технология, состоящая в последовательном применении термоводородной обработки (ТВО) и вакуумного ионно-плазменного азотирования (ВИПА).

Подобные комплексные технологии были разработаны на кафедре «Материаловедения и технологии обработки материалов»

Московского авиационного института и показали высокую эффективность для промышленных титановых сплавов.

Проектирование технологических схем и выбор режимов термоводородной обработки основаны на построении и анализе диаграмм фазового состава системы сплав – водород.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния термоводородной обработки на фазовый состав, структуру и свойства высокомодульного титанового сплава с содержанием алюминия, превышающим предельную растворимость в α титане.

Исследования были проведены на образцах, вырезанных из горячекатаного прутка диаметром 15 мм. Химический состав сплава представлен в таблице 1. Исследование фазового состава и структуры проводили методами оптической металлографии и рентгеновской дифрактометрии. Механические свойства определяли по стандартным методикам. Термоводородную обработку проводили в установке Сивертса и вакуумной печи.

Таблица 1

Легирующие элементы, (масс. %)				Примеси					
Ti	Al	Zr	Mo	Fe	Si	O	C	N	H
основа	8,7	1,5	2,0	0,15	0,1	0,12	0,01	0,01	0,006

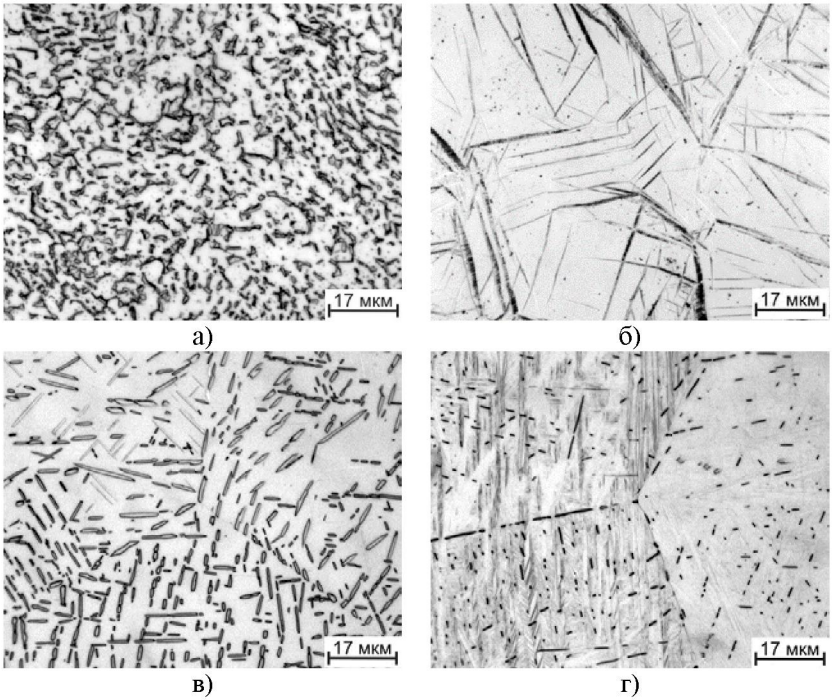
Для привидения сплава в равновесное состояние образцы отжигали в вакуумной печи при температуре 950 °С в течение 1 часа. Структура сплава после отжига представлен α- и β-фазами и малым количеством α_2-фазы (рисунок 1а).

Насыщение образцов водородом проводили при температуре 800 °С до концентраций от 0,2 до 1,0 масс. %.

Для определения фазового состава и структуры сплава, легированного водородом, при повышенных температурах использовали метод пробных закалок.

После закалки с температуры выше температуры полиморфного превращения структура представлена мартенситом α'' и β–фазой (рисунок 1б). После закалки с температуры ниже температуры полиморфного превращения в структуре присутствует первичная α–

фаза (рисунок 1в). Закалка сплава с высоким содержанием водорода с температур ниже 750 °С сопровождается образованием гидрида титана (рисунок 1г).



а) б) в) г)

Рис. 1. Микроструктура образцов
из сплава Ti-8,7Al-1,5Zr-2,0Mo после отжига
а) и закалки с различных температур: б) 0,4 % водорода, 1050 °С;
в) 0,4 % водорода, 850 °С; г) 0,8 % водорода, 700°С.

По результатам проведенных экспериментов построена температурно – концентрационная диаграмма фазового состава системы сплав – водород (рисунок 2). Установлено, что водород расширяет область стабильности β-фазы, снижая температуру $\beta/\alpha+\beta$ перехода на 210 °С (при 1,0 % водорода), и повышает температуру устойчивости α_2-фазы на 50 °С. При содержании водорода более 0,6 % в сплаве образуется гидридная фаза.

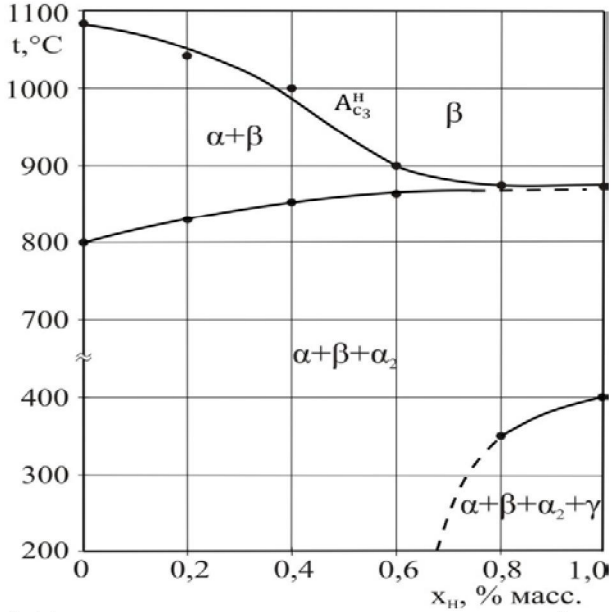


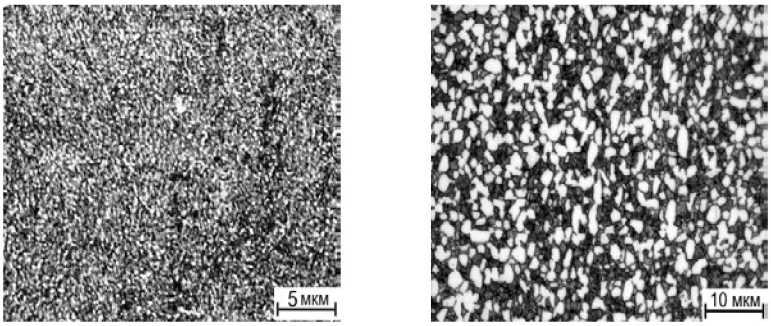
Рис. 2. Температурно-концентрационная диаграмма фазового состава сплава Ti-8,7Al-1,5Zr-2,0Mo, легированного водородом

На основе анализа диаграммы были разработаны и опробованы 2 режима наводороживающего отжига с окончанием в β и α + β – фазовых областях: 1 – 0,8 % водорода, 880 °С; 2 – 0,6 % водорода, 900 – 850 °С

Вакуумный отжиг образцов, наводороженных по обоим режимам, проводили по ступенчатому режиму: первая температура 500 °С, 1 час, нагрев до 680 °С, выдержка 7 часов. Концентрация водорода в образцах после вакуумного отжига, составила не более 0,008 %.

Термоводородная обработка по первому режиму позволила получить мелкодисперсную структуру сплава с субмикрокристаллической α($α_2$)-фазой (рисунок 3а). По второму – бимодальную структуру с глобулярной первичной α($α_2$)-фазой и мелкодисперсной субмикрокристаллической вторичной α-фазой в β-матрице (рисунок

3б)



а) б)

Рис. 3. Структура сплава Ti-8,7Al-1,5Zr-2,0Mo после ТВО по режимам 1 (а) и 2 (б)

Результаты испытаний образцов, обработанных по обоим режимам термоводородной обработки, показали повышение прочностных характеристик сплава на 8 – 10 % и его твердости на 20 – 30 %.

Применение термоводородной обработки позволит создать эффективную комплексную технологию обработки полуфабрикатов и изделий из высокомодульного Ti – сплава с повышенной твердостью и износостойкостью. Такие сплавы перспективны для изготовления высокоресурсного, износостойкого режущего медицинского инструмента, применяемого в травматологии и ортопедии, в частности при имплантации эндопротезов крупных суставов человека.

За счет улучшения эксплуатационных характеристик и увеличение ресурса эксплуатации в 1,5 – 2 раза, такой инструмент будет иметь конкурентное преимущество по экономическим показателям перед аналогичным инструментом из нержавеющей стали и промышленных конструкционных титановых сплавов типа ВТ6 и ВТ20.

REGULARITIES OF FORMING THE PHASE COMPOSITION, STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE HIGH MODULUS TITANIUM ALLOYS

BY THERMAL HYDROGEN TREATMENT

Slezov S.
Supervisor: A. Mamonov, Doctor of Engineering Science, professor
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

Experimental data on the influence of hydrogen on phase composition and structure of the alloy Ti-8,7Al-1,5Zr-2,0Mo were obtained. An alloy-hydrogen system was diagramed in hydrogen concentration range of the initial content up to 1.0 wt. % and temperature range of 20° up to 1100 °C. We developed and tested technological schemes and modes of thermal-hydrogen treatment using alloy samples to form the two types of structure – submicrocrystalline and bi-modal. The mechanical properties of the alloy are determined.

УДК 669.295:669.176

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ АНИЗОТРОПИИ ТЕКСТУРИРОВАННЫХ ЛИСТОВЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ГПУ-СПЛАВОВ

Сперанский К.А., Грушин И.А., Петров А.А.
Научный руководитель: С.Я. Бецофен, д.т.н., профессор
(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Разработка новых высокотехнологичных материалов для ракетно-космической и авиационной отраслей промышленности, атомной энергетики связана с созданием технологий, обеспечивающих получение требуемого комплекса технологических и эксплуатационных свойств изделий и конструкций. Широкое применение в этих отраслях промышленности нашли сплавы титана и циркония. Характерной особенностью этих сплавов является кристаллографическая текстура, которая формируется в процессах деформации и термической обработки, при этом для сплавов циркония, и особенно титана, текстура практически полностью определяет анизотропию физико-механических свойств полуфабрикатов и изделий из них.

Необходимость управления текстурообразованием обусловливает развитие методик, позволяющих проводить количественный анализ кристаллографических ориентировок.

Для данной работы были поставлены следующие задачи:

1. Экспериментально исследовать методом прямых (ППФ) и обратных полюсных фигур (ОПФ) текстуры листовых полуфабрикатов из сплавов титана и циркония.

2. Рассчитать коэффициент Кернса (f) и модуля Юнга (E) для исследованных сплавов, на основании ППФ и ОПФ.

3. Разработать метод оценки точности расчетов из ОПФ в зависимости от дискретности экспериментальных точек на стереографическом треугольнике.

4. Провести сравнительный анализ точности различных методов расчета коэфф Кернса и модулю Юнга из текстурных данных применительно к сплавах титана и циркония.

В качестве объектов исследования были выбраны титановые сплавы (Вт5, Вт6, Вт20, Вт23), а также циркониевый сплав Э110. Образцы из исследуемых сплавов были вырезаны и обработаны для исследования с помощью рентгеноструктурного анализа на установке Дрон-4-07.

Коэффициенты Кернса рассчитывали с использованием трех методик.

Расчет *f*-параметров для сплава Э110 о.ч. в соответствии с **первой методикой** проводили на основе построения полных ППФ из неполных методом экстраполяции. (Неполные ППФ были получены по результатам рентгеновской съемки в CrK_α-излучении с плоскости листа на середине его толщины в рефлексе (0002) α-Zr.).

При построении количественных ОПФ, необходимых для вычисления текстурных коэффициентов по второй и третьей методикам, расчет полюсной плотности проводили с применением операции нормирования по Моррису. Для этого были рассчитаны коэффициенты нормировки A_{hkl} для 17 рефлексов, соответствующих числу независимых рефлексов в дифракционном спектре α-Ti при использовании фильтрованного CuK_α-излучения. Полюсную плотность с учетом A_{hkl} определяли по формуле:

$$P_{h_ik_il_i}^{\text{норм}} = \frac{P_{h_ik_il_i}}{\sum_{i=1}^{n}(P_{h_ik_il_i}A_{h_ik_il_i})} \qquad (1)$$

Вторая и третья методики основаны на результатах ОПФ.

Вторая методика определения коэффициентов Кернса (ОПФ17) является стандартной и включает усреднение значений *f*-параметров, вычисленных для каждого экспериментального рефлекса ($h_ik_il_i$) по всему стереографическому треугольнику, при этом все *f*-параметры имеют одинаковый весовой множитель:

$$f_{\text{НП(ПН,НН)}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_{h_ik_il_i}^{\text{НП(ПН,НН)}} cos^2\gamma_i \qquad (2)$$

Третья методика (ОПФ17-М) отличается тем, что в ней учитывается неравномерность распределения экспериментальных рефлексов на сфере проекций (аналогично операции нормирования полюсной плотности) с использованием тех же коэффициентов нормировки A_{hkl}, что и при нормировке полюсной плотности:

$$f_{\text{НП(ПН,НН)}} = \sum_{i=1}^{n} A_{h_ik_il_i} * P_{h_ik_il_i}^{\text{НП(ПН,НН)}} cos^2\gamma_i \qquad (3)$$

Также была предложена **новая методика**, которая позволила оценить точность, с которой проводятся расчеты свойств с помощью второй и третьей методик. С помощью данной методики можно рассчитать теоретическое значение параметров Кернса, модуля Юнга, задать требуемую дискретность и таким образом получить абсолютное значение искомых параметров.

Сопоставление результатов расчетов для листов сплава Э110 о.ч. показывает, что величины *f*-параметра, рассчитанные из ППФ для НП и ПН, выше, чем полученные из ОПФ. Для НН имеет место обратная закономерность: величины, определенные из ППФ ниже, чем из ОПФ. При этом значения текстурных коэффициентов, полученных из ОПФ усреднением, учитывающим неравномерность рефлексов на сфере проекций (ОПФ17-М), ближе к величинам, полученным из ППФ, чем полученным усреднением всех рефлексов с одинаковым весовым вкладом (ОПФ17).

Следует отметить, что ошибки метода ППФ обусловлены эффектом дефокусировки, который сложно оценить аналитически. В свою очередь ошибки метода ОПФ связаны в основном с ограниченностью экспериментальных точек на сфере проекций при реализации рентгеновского эксперимента. В этом случае существует возможность аналитической оценки точности метода, что можно признать преимуществом ОПФ.

Выбор для моделирования базисной и призматической текстур определяется тем, что базисной текстуре соответствует максимальное значение коэффициента Кернса, а призматической текстуре минимальное его значение. Кроме того, численные параметры в уравнениях (1) и (2) дают при расчетах коэффициентов Кернса величины соответствующие сплавам титана и циркония с наиболее интенсивными базисной и призматической текстурами.

Данное представление текстуры позволяет оценить точность метода ОПФ применительно к оценке параметров анизотропии, поскольку на основании аналитической функции можно абсолютно точно определить величины полюсных плотностей для экспериментально измеряемых рефлексов, а также для любых ориентаций на полюсной фигуре.

Такой подход дает возможность сопоставить точность усреднения по экспериментальным (ОПФ17 и ОПФ17-М) и теоретических ОПФ (ОПФТ), поскольку в последних дискретность ориентаций может быть задана не ограничено до таких минимальных углов между ориентациями, когда величина параметра анизотропии практически не будет изменяться, и эту величину можно принять за истинное значение параметра анизотропии для данной текстуры.

В этом случае ошибка метода ОПФ будет равна разности между этим истинным значением параметра анизотропии и соответствующей величиной, полученной для ОПФ с 17 рефлексами, т.е. для экспериментальной ОПФ.

Таблица 1

Ошибки в определении f и E для различных вариантов усреднения на ОПФ

Тип усреднения ОПФ	Δγ	n	Баз.текстура				Призм.текстура			
			E	ΔE/$E_{0,5}$	f	Δf/$f_{0,5}$	E	ΔE/$E_{0,5}$	f	Δf/$f_{0,5}$
	град		ГПа	%		%	ГПа	%		%
ОПФ17	-	17	134,1	5,14	0,837	17,4	105,5	-0,32	0,065	-21,4
ОПФ17М	-	17	128,3	0,62	0,729	2,3	105,8	-0,04	0,081	-2,9
ОПФ-Т(10)	10	9	128,0	0,35	0,724	1,6	106,0	0,15	0,093	11,4
ОПФ-Т(5)	5	18	127,6	0,04	0,71	0,17	105,89	0,05	0,086	3,0
ОПФ-Т(2)	2	48	127,56	0,01	0,713	0,03	105,85	0,01	0,084	0,5
ОПФ-Т(1)	1	90	127,57	0,02	0,713	0,08	105,84	0,00	0,084	0,1
ОПФ-Т(0,5)	0,5	180	127,55	0,00	0,712	0,00	105,84	0,00	0,083	0,0

Согласно результатам расчетов (табл. 1), угловой интервал $\Delta\gamma = 2°$ является критическим: дальнейшее его уменьшение не дает ощутимого эффекта (ошибка менее 0,1 %). Способ усреднения существенно влияет на результаты вычисления коэффициентов Кернса.

Так, учет неравномерности рефлексов на сфере проекций (ОПФ17-М) дает результат, который отличается от истинного ($\Delta\gamma < 2°$) всего на 2–3 % по f-параметру, а усреднение без учета неравномерности рефлексов (ОПФ17) дает отклонение от истинного значения на 17–20 %. По модулю упругости ошибка существенно ниже, чем по f-параметру и усреднение ОПФ17-М дает заметно меньшую ошибку по сравнению с ОПФ17.

Расчетным методом показано, что значения коэффициентов Кернса при усреднении, учитывающем неравномерность рефлексов на сфере проекций (ОПФ17-М), для базисной текстуры выше истинных значений на 2,3 %. Из этого следует, что если значения коэффициентов Кернса, рассчитанные из ОПФ для базисной текстуры и равные в среднем 0,725, то истинная величина *f*-параметра на 2,2 % ниже и составляет 0,709. Разница между этим значением и величиной, полученной из ППФ (0,653), составляет 0,056, что более чем втрое превышает аналогичную разницу (0,016) для величин, рассчитанных из ОПФ.

По результатам работы были сделаны следующие выводы:

1. Проведен сравнительный анализ величин текстурных коэффициентов Кернса для листов сплавов титана и циркония методом прямых и обратных полюсных фигур.

2. Моделирование базисной и призматической текстуры ГПУ-металлов на примере сплавов титана и циркония с помощью соответствующих аналитических функций позволило впервые объективно оценить точность определения коэффициентов Кернса и модулей Юнга в зависимости от дискретности экспериментальных точек на ОПФ.

3. Показано, что нецелесообразно снижать угловые дистанции между экспериментальными точками на ОПФ меньше чем на 2°, поскольку относительная ошибка при этом становится меньше 0,1 %.

4. Для оценки коэффициентов Кернса по результатам текстурных исследований методом ОПФ необходимо использовать операцию нормирования с учетом неравномерности рефлексов на сфере проекций, что позволит снизить ошибку определения текстурных параметров до 2–3 %.

5. Сопоставление экспериментальных результатов измерения коэффициентов Кернса с результатами расчетов на основе теоретических ОПФ показало, что точность измерения коэффициентов Кернса методом ОПФ выше точности измерения методом ППФ.

DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL AND CALCULATING METHODS OF ESTIMATION OF ANISOTROPY PARAMETERS OF TEXTURED SHEET SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM HCP-ALLOYS

Speranskii K., Grushin I., Petrov A.
Supervisor: S. Betsofen, Doctor of Engineering Science, professor
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

The development of new high-tech materials for the rocket-space and aviation industries, nuclear power is associated with the creation of technologies that ensure the required set of technological and operational properties of products and structures. Alloys of titanium and zirconium have found wide application in these industries. A characteristic feature of these alloys is the crystallographic texture, which is formed in the processes of deformation and heat treatment, while for alloys of zirconium, and especially titanium, the texture almost completely determines the anisotropy of the physical and mechanical properties of semi-finished products and articles thereof.

The need for controlling texture formation determines the development of techniques that allow for the quantitative analysis of crystallographic orientations.

УДК 667.6

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНО-ДИСПЕРСНОЙ ЭМУЛЬСИИ РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННЫМ АКУСТИЧЕСКИМ АППАРАТОМ

Султанова А.Ф.
Научный руководитель: А.И. Ахметшина
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Данная статья посвящена новому, уникальному классу диспергаторов, названный роторно-пульсационным акустическим аппаратом. Благодаря которому появится возможность получить краску, применяемую для покраски самолетов с улученными эксплуатационными характеристиками.

Сохраняющееся, в настоящее время, повышенное внимание к использованию акустического воздействия на жидкотекучие среды в технологических процессах различных отраслей промышленности объясняется возможностью получения положительных результатов, достичь которых без акустического воздействия невозможно. Воздействие ультразвуком широко используется при диспергировании разнообразных по структуре дисперсных сред (эмульсий, суспензий, пен и т.д.)

В печати, в том числе в периодической, время от времени появляются работы, посвященные вопросам акустического воздействия различных по конструкции и принципу действия устройств на гетерогенные жидкотекучие среды. Как правило авторы, говоря о получении в аппаратах их конструкций (или по их способам) дисперсий различных эмульсий не приводят конкретных параметров этих аппаратов, способных непосредственно влиять на процесс эмульгирования, не приводят важнейших данных, касающихся самих эмульсий, таких как: средний диаметр частиц дисперсной фазы, полученных в этих аппаратах эмульсий, межфазного поверхностного напряжения, концентрации дисперсной фазы в дисперсионной среде.

Представляемая работа посвящена проблеме получения тонких и ультратонких эмульсий со средним диаметром частиц дисперсной фазы $d \approx 0{,}1$ мкм, межфазное поверхностное натяжение у которых находится в пределах $\sigma \approx 10 - 10$ (Н/v), с концентрацией дисперсной фазы $C \geq 25$ %.

Авторы предлагают диспергировать жидкости в роторно-пульсационном аппарате, схема которого и принцип действия описаны в патенте РФ № 2192920.

Новизна аппарата состоит в том, что реализуемые в установке условия обработки – большие градиенты скоростей, активный гидродинамический режим, эффективная турбулизация и пульсации потока, поле мощных акустических колебаний широкого диапазона частот, кавитационные эффекты (действие ударных волн, акустокапиллярный эффект), высокие напряжения сдвига сочетаются с одновременным воздействием на частицы дисперсной фазы (диспергирование, деформация, резание, перетирание частиц между движущимися поверхностями), что приводит к резкой интенсификации всех процессов, протекающих в гетерогенных средах и растворах.

Основное достоинство предлагаемого аппарата, по сравнению с ныне существующими аналогами (немецкими, американскими) состоит в том, что он позволяет получить мелкость частиц твердых фаз от 0,1 до 0,05 микрона. Лучшие зарубежные аналоги дают мелкость частиц 4-6 микрон.

Роторно-пульсационный аппарат отличается тем, что диспергирование водной суспензии в аппарате осуществляется в условиях воздействия на нее резонансных колебаний ротора и статора, которые определяются по значению максимальной амплитуды звуковых колебаний.

Проведена серия опытов по обработке молока и молочной сыворотки в режиме потока. Рассмотрено несколько вариантов. Предварительно нагретые до 60°, 70° и 80°С молочная сыворотка и молоко непрерывно обработаны в режиме потока в роторно-пульсационном аппарате. Производительность аппарата 12000 л/ч, скорость вращения ротора – 6200 об/мин. Соблюдены условия резонансных колебаний между статором и ротором, которые определены по максимальной амплитуде звуковых колебаний по вибродатчику марки

ВМВ 003М2.

В обработанном молоке значительно повышена степень дисперсности молочного жира: средний размер капель составляет 0,6-0,8 мкм против 3,2 мкм в исходном молоке. Средний размер частиц молочного жира в стерилизованном молоке после гомогенизации по известным способам равен 1,0-2.0 мкм.

Область применения роторно-пульсационного аппарата значительно шире, чем производство восстановленного молока. В г. Казань в ИОФХ им. А.Е. Арбузова, проведены работы по экстракции пектина из пектинсодержащего сырья. Результаты этой работы приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики экстракции пектина

	Режим экстракции			Характеристики	
№	Скорость вращения ротора	Время	Температура	Степень этерификации	Выход пектин
	Об/мин	с	С	%	%
1	4000	120	38	75	96,3
2	4000	300	42	80-85	97,2
3	5000	60	42	70-75	98,9
4	1000	240	36	75	56,7

Так же проведено исследование вязкости нефти. Зависимость динамической вязкости нефти от времени экстракции при температуре 10˚, 20˚, 30ºС представлены на рисунке 1.

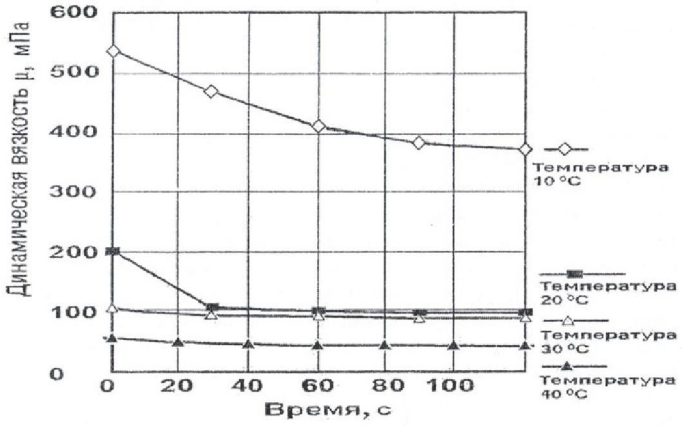


Рис. 1. Зависимость динамической вязкости нефти от времени экстракции

В роторно-пульсационном аппарате был обработан битум. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты обработки битума БНД 60/90 в роторно-пульсационном аппарате

Наименование показателей	**Температура размягчения С**	**Растяжение, см**	**Пенетрация 0,1 мм**	**Температура хрупкости С**
Исходный битум БНД 60/90	45	68	75	-22
После традиционной обработки	45	68	75	-22
После обработки в роторно-пульсационном аппарате	45,3	100	121	-28

В заключение необходимо отметить, что роторно-пульсационный аппарат значительно превосходит аналогов. Были проведены комплексные исследования роторно-пульсационного аппарата, диаметр диска ротора в пределах D = 180-250мм. В ходе этого исследования было выявлено, что удастся создать аппарат с еще большей акустической мощностью. Следовательно, появится возможность проводить более глубокую обработку нефти и ее продуктов. В дальнейшем планируется провести исследования с лакокрасочным составом, применяемым в промышленности, в частности авиационной, автомобильной.

Список литературы

1. *Фомин В.М. Воробёв Б.А.* А.с. 1414145, СССР BO1 F 7/100. Устройство для перемешивания.

2. *Черняков В.М. Промтов М.А.* А.с. 1479088 СССР, МКИ BO1 F 7/28 Роторный аппарат. Опубл. 15.05.1989

3. *Курочкин А.К. Бадиков Ю.В.* А.с. 1422876 СССР, BO1 F, Роторно-пульсационный аппарат.

THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF NANO EMULSION DISPERSION ROTARY-PULSATION ACOUSTIC APPARATUS

Sultanova A.
Supervisors: A. Akhmetshina
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

This article is devoted to a new, unique class of dispersants, called rotary-pulsation acoustic apparatus. By which it will be possible to obtain the paint used for painting aircraft with superior performance characteristics.

УДК 678

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА СТРУКТУРУ КЛЕЕВЫХ СЛОЕВ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Устинов А.А.
Научный руководитель: Н.А. Козлов, докт. техн. наук, доцент
(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва)

В работе обобщены результаты сравнительных исследований изменений трещиностойкости клеевых соединений листов алюминиевого сплава и стеклопластика, структуры и свойств трех типов клеевых слоев в них, проведенных в рамках длительного космического эксперимента «Компласт» по определению влияния факторов космического пространства на эксплуатационные свойства различных материалов и их соединений. Показано, что длительное воздействие факторов космического пространства приводит, по сравнению с хранением образцов в земных условиях, к уменьшению критических параметров трещиностойкости исследованных КС вследствие повышения хрупкости клеевых слоев и проявлению усадочных явлений в них.

При разработке современных космических систем, оценке и прогнозировании их ресурса, долговечности и надежности важнейшей задачей является накопление данных о результатах систематических исследований изменений структуры и свойств используемых конструкционных материалов и их соединений при длительном воздействия факторов космического пространства (глубокого вакуума, термоциклирования, жестких ионизирующих излучений, микрометеоритов, атомарного кислорода, собственной атмосферы вокруг космического аппарата, эксплуатационных нагрузок и др.), т.к. основные силовые элементы конструкций должны служить весь срок эксплуатации, который может быть значительным. Так, станция Мир функционировала в околоземном космическом пространстве около 15 лет, а МКС уже функционирует более 18 лет [1].

В данной работе обобщены результаты сравнительных исследований изменений трещиностойкости трех групп образцов клеевых соединений (КС) на основе трех типов клеев (ЭПК-1, ВК-9, К-300-61) и двух типов склеиваемых пластин из алюминиевого сплава Д-16 и стеклопластика КАСТ-В при различном их сочетании, а также изменений структуры и свойств клеевых слоев в них после 12 лет экспозиции в космических условиях, после 12 лет экспозиции в космических условиях и дооблучения электронным пучком, соответствующим дополнительной экспозиции в течение 18 лет в космосе, и после 12 лет хранения на Земле [1-2].

Исходные образцы КС были подвергнуты разрушению при раскалывании по моде *I* для определения критического параметра трещиностойкости G_{IC} (таблица 1) [3].

Таблица 1

Усреднённые значения GIC для разных групп образцов в процентах от значений GIC у исходных образцов – аналогов.

Тип клея	Группа образцов КС, % от показателя GIC у исходных образцов				
	Исходные образцы - аналоги (1998 г.)	После экспозиции в космосе	После экспозиции в космосе и дооблучения	Образцы – аналоги, хранившиеся в земных условиях (2008 г.)	Образцы – аналоги, хранившиеся в земных условиях (2012 г.)
К-300	100	32,84	31,34	47,76	46,27
ЭПК-1	100	75,86	62,07	67,24	65,52
ВК-9	100	30,30	33,33	43,64	42,42

После разрушения образцов КС были исследованы состав и

топография поверхности клеевых слоев и склеиваемых пластин методами Оже-электронной и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, оптической бесконтактной 3D профилометрии, а также определены дисперсионная и полярная составляющие поверхностной энергии клеевого слоя методом смачивания жидкостями различной полярности. При исследовании изменений объемных свойств клеевых слоев после разрушения были использованы изотермы сорбции паров воды, полученные с помощью автоматических вакуумных сорбционных весов, температурно-частотные зависимости диэлектрических свойств, термомеханические и дилатометрические кривые и термограммы дифференциальной сканирующей калориметрии для определения температуры стеклования (таблица 2) [2].

Таблица 2

Усреднённые значения температур стеклования для различных групп образцов, полученные методом дифференциальной сканирующей калориметрии

Вид образца	Тип клея		
	К-300	ЭПК-1	ВК-9
После экспозиции в космосе	60	57	31
Дооблученный после экспозиции в космосе	60	59	94
Образец - аналог	33	58	56

Обобщенный анализ полученных данных показывает, что длительная натурная экспозиция в космическом пространстве, как и дооблучение электронами, приводит, по сравнению с хранением образцов в земных условиях, к уменьшению критических параметров трещиностойкости исследованных КС. Вероятнее всего это обусловлено увеличением температуры стеклования, хрупкости и теплостойкости клеевых слоев, а также проявлением усадочных явлений в них вследствие десорбции летучих компонентов из объема клеевого слоя и увеличения густоты полимерной сетки в результате воздействия ионизирующих излучений.

Список литературы

1. *Shumov A.E., Novikov L.S., Shaevich S.K., Aleksandrov N.G., Smirnova T.N., Nikishin E.F., Chernik V.N., Petukho V.P., Voronin E.N., Sedov V.V., Salnikova I.A., Babaevskiy P.G., Kozlov N.A., Deev I.S., Startsev O.V., Shindo D.J., Golden J.L., Kravchenko M.* Results of the Komplast experiment on the long-term exposure of materials specimens on the ISS surface. // Advances in Space Research. Volume 56, Issue 10, 15 November 2015, Pages 2188–2195.

2. *Бабаевский П.Г., Козлов Н.А., Гришин А.С.* Влияние условий космического пространства на объемные свойства клеевых слоев клеевых соединений // Новые материалы и технологии МТМ-2012 Материалы Всероссийской научно-технической конференции. 20–22 ноября 2012 г. с. 97-98.

3. *Устинов А.А., Бабаевский П.Г., Козлов Н.А.* Прогнозирование долговечности клеевых соединений металлов и полимерных композиционных материалов с заданным дефектом по результатам пассивного («компласт») и активного («крт») космических экспериментов и наземных испытаний // Труды XVII Межвузовской научной школы молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине» М.: Университетская книга, 2016. с. 131–137.

EFFECT OF SPACE FACTORS ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF ADHESIVE LAYERS AND CRACK RESISTAN OF ADHESIVE JOINTS

Ustinov A.
Supervisor: N. Kozlov, Ph.D.
(*Moscow Aviation Institute, Moscow*)

Comparative studies results of changes in crack resistance of aluminium alloy and glassfibre plastics adhesive joints, structure and properties of three types of adhesive layers in them conducted within the framework of long-term duration space experiment "Komplast" for determination of space factors effect on operating properties of different materials and their joint. It is shown that long-

term duration space factors action leads, as compared to storage in earth conditions, to reduction of critical parameters of crack resistance of adhesive joints because of embrittlement of adhasive layers and shrinkage phenomena in them.

УДК 656.13.054

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Фаткуллин А.Р., Янтыков А.А., Шаяхметов А.А.
Научный руководитель: Н.Я. Галимова, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Разработана новая комбинированная технология нанесения порошковых покрытий на поверхности различных по природе материалов, в том числе на крупногабаритные изделия сложной конфигурации. Исследовано влияние инфракрасного излучения на процессы формирования покрытий. Оптимизированы режимные параметры нанесения и формирования покрытий с повышенными эксплуатационными свойствами.

Целью работы является совершенствование технологического процесса нанесения и формирования покрытий на основе полимерных порошковых композиций.

В машиностроении и других отраслях промышленности наиболее распространенными являются покрытия на основе жидких лакокрасочных материалов. Однако следует отметить, что в последние десятилетия во всех промышленно развитых странах наблюдается стремительный рост объемов производства и применения полимерных порошковых композиций и покрытий на их основе. В настоящее время на долю технологий получения порошковых покрытий различного функционального назначения приходится до 20 % всех окрашиваемых изделий и конструкций. Ежегодный прирост мирового производства ППК составляет около 10 %.

Для нанесения и формирования порошковых покрытий используются различные способы, среди которых наибольшее распространение получили способы распыления в электростатическом поле [1–3]. В последние время широко применяются комбинированные способы, сочетающие в себе различные технологии напыления и формирования покрытий, например, электрогазопламенный и др.

Применение высокоэффективных технологий и установок обеспечивает получение покрытий с повышенной надежностью [4-5]. Основными потребителями порошковых покрытий являются машиностроение и энергетика, химическая и нефтегазовая промышленность. При этом важной проблемой является нанесение порошковых покрытий на поверхности различных материалов, например, на крупногабаритные изделия сложной конфигурации. Поэтому исследования, направленные на разработку новых высокоэффективных технологий и установок для нанесения полимерных порошковых покрытий, являются актуальными.

В качестве порошковых композиций были выбраны промышленные поливинилхлоридные (П-ХВ-716, П-ХВ-729) и эпоксидные (П-ЭП-219, П-ЭП-177, УП 2192 «А») композиции, которые представляют собой тонкодисперсные порошки и используются для получения коррозионностойких, электроизоляционных, защитно-декоративных и других видов функциональных покрытий. Нанесение ППК на образцы и изделия проводили электростатическим способом, а процесс формирования покрытий осуществляли в установке полимеризации. Для проведения экспериментальных исследований и отработки режимных параметров нанесения покрытий использовали пластинки из листовой стали марки 08кп (ГОСТ 16523-97) толщиной 0,5-1,0 мм, а также листы из алюминиевых сплавов (ГОСТ 21631-76) толщиной 1,5 мм.

Подготовку поверхности образцов проводили в соответствии с ГОСТ 8832-76. Пластинки из стали подвергали механической обработке абразивным инструментом (шлифовальная шкурка зернистостью № 4–6) на шлифовальном станке, затем промывали уайт-спиритом и сушили; пластинки из алюминия протирали мягкой тканью, смоченной уайт-спиритом, вытирали насухо и сушили. Внешний вид полимерных порошковых покрытий определяли по ГОСТ 9.707-84, укрывистость по ГОСТ 8784-75, адгезионную прочность по ГОСТ 15140-78. Толщину покрытий измеряли толщиномером SaluTron(R)CombiD3.

Разработан способ нанесения полимерных порошковых покрытий с комбинированной термообработкой с целью интенсификации технологического цикла формирования (стадий расплавления,

растекания и отверждения) и повышения качества покрытий на поверхностях изделий, имеющих сложную геометрию. Способ предусматривает на стадии расплавления частиц подвод тепловой энергии со скоростью 0,5°С/с до температур 150-170°С путем использования ИК панели и встроенным в ней вентилятором, создающим поток горячего воздуха со скоростью не более 1,0 м/с. На этой же стадии происходит начало растекания расплава порошковой композиции, затем после образования расплавленного слоя поверхность облучается с помощью ИК панелей, создающих излучение длиной волн 1,2-2,0 нм и удельной мощностью 80 кВт/м^2 до достижения температуры полимеризации, характерной для данного типа порошковой композиции. Способ также предусматривает, что в зоне нагрева установлены параболические отражатели с возможностью сканирования излучения ИК панелей по всей поверхности изделия, в том числе с проникновением излучения в теневые труднодоступные участки [4-5].

В таблице в качестве примера показано изменение адгезионной прочности и толщины покрытий от расстояния до поверхности образца, времени воздействия ИК излучения и времени формирования на основе эпоксидной порошковой композиции УП 2192 «А».

Таблица

Изменение толщины и адгезионной прочности покрытий

№ образца	Расстояние от поверхности до ИК излучателя, мм	Время воздействия излучателя, мин	Время формирования покрытия, мин	Толщина покрытия, мкм	Адгезия покрытия, балл
1	50	12	32	174	0
2		13	33	170	0
3		14	34	168	0
4		15	35	164	0
5		12	32	180	1
6		13	33	176	0

7	100	14	34	172	0
8		15	35	170	0
9	150	12	32	190	5
10		13	33	187	5
11		14	34	183	5
12		15	35	180	3
13		16	36	178	2
14		17	37	174	1
15		18	38	170	0
16		19	39	167	0
17		20	40	163	0

Видно, что адгезионная прочность покрытия определяется расстоянием до подложки, временем воздействия ИК излучения и временем полимеризации. Экспериментально доказано, что воздействие ИК излучения повышает растекаемость композиций, заметно сокращает время формирования покрытий по сравнению с конвекционным способом, что способствует улучшению укрывистости полимерных порошковых покрытий.

Таким образом, разработан высокоэффективный технологический процесс, позволяющий получать покрытия различного функционального назначения комбинированным способом. Определены интервалы изменения основных эксплуатационных характеристик покрытий, зависящих от режимов проведения технологических процессов.

Список литературы

1. *Яковлев А.Д.* Химия и технология лакокрасочных покрытий. – СПб.: Химиздат, – 2008. 448 с.

2. Порошковые краски. Технология покрытий. Пер. с англ. под ред. А.Д. Яковлева. – СПб.: Химиздат, – 2001. – 253 с.

3. *Яковлев А.Д., Машляковский Л.Н.* Порошковые краски и покрытия. – СПб.: Химиздат, – 2000. – 63 с.

4. *Галимов Э.Р., Зверев Э.В, Тукбаев Э.Е., Галимова Н.Я., Курынцев С.В., Мухин А.М.* Полимерные порошковые покрытия специального назначения. – Казань: Офсет Сервис. – 2012. – 164 с.

5. *Галимов Э.Р., Тукбаев Э.Е., Федяев В.Л. Шарафутдинов Р.Ф.* и др. Высокоэффективные технологии и оборудование для нанесения полимерных порошковых покрытий. – Казань: АН РТ. – 2016. – 250 с.

IMPROVEMENT OF APPLICATION TECHNOLOGY POLYMERIC POWDER COATINGS

Fatkullin A., Yantykov A., Shayakhmetov A.
Supervisor: N. Galimova, PhD
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

A new combined powder coating technology has been developed on the surface of materials that are different in nature, including large-size products of complex configuration. Influence of infrared radiation on the formation of coatings is studied. The regime parameters of application and formation of coatings with improved performance properties are optimized.

УДК 02.154.162

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ВОЛЛАСТОНИТОМ НА ТВЕРДОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

***Хасанова А.Р.*[1]**
Научные руководители: Э.Р. Галимов[1], докт. техн. наук, профессор, Е.М. Готлиб[2], докт. техн. наук, профессор
([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, [2]Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань)

Методом Барколя изучено влияние модификации эпоксидных композиций волластонитом на твердость получаемых композиций. Установлено, что модификация, как природным, так и поверхностно-активированным волластонитом увеличивает этот показатель, причем в большей степени при применении в качестве отвердителя гексаметилендиамина.

Введение

Среди полимерных материалов особое место по эффективности и перспективности применения в различных отраслях промышленности, в том числе в машиностроении, занимают эпоксидные смолы и разнообразные композиции на их основе, ассортимент которых чрезвычайно широк и непрерывно расширяется.

Для улучшения эксплуатационных показателей эпоксидных композиций перспективно вводить в их рецептуру волластонит. Он представляет интерес как недорогой отечественный минеральный наполнитель микроармирующего действия, обладающий анизодиаметричной формой частиц [1]. Известно [2], что волластонит повышает прочностные характеристики эпоксидных материалов.

Экспериментальная часть

Для получения модифицированных композиций использовалась эпоксидная диановая смола ЭД-20 (ГОСТ 10587-84). В качестве сшивающих агентов для холодного отверждения использовался

аминоалкилфенол (АФ-2) (ТУ 2494-052-00205423-2004), а для горячего отверждения – гексаметилендиамин (ГМДА) (ТУ 6-09-36-73). Содержание отвердителя определялось эквимольным соотношением [эпоксигруппы]:[амин] и [циклокарбонатные группы]:[амин]. На основе проведенной ранее [3] оптимизации составов и технологии получения эпоксидных композиций отвердитель ГМДА вводился в виде 70 % раствора в пластификаторе ЭДОС (смесь диоксановых спиртов, их эфиров и симметричных формалей) (ТУ2493-003-13004749-93), а содержание модифицирующих добавок составляло 10 масс. ч. Отверждение ГМДА проводилось при температуре 50°С в течение трех часов, а АФ-2 при нормальных условиях.

В качестве наполнителя применялся волластонит (метилсиликат кальция) марки Миволл 10-97 (ТУ 577-006-40705684-2003), отечественного производства ЗАО «Геоком» с характеристическим отношением длины к диаметру зерен 15:1. Диаметр частиц эквивалентной сферы волластонита составляет 2-20 мкм. В качестве поверхностно-активных веществ (ПАВ) применялись четвертичные аммонийные соли (ЧАС), производства ООО Научно-производственного объединения «НИИПАВ» г. Волгодонск: АЛКАПАВ 1214С.50 (алкил 12-14) (ТУ 2482-004-04706205-2005 с изм. № 1–5) алкилтриметиламмоний хлорид 50 % раствор в изопропиноле, КАТАПАВ 1214С.50 (ТУ 2482-003-04706205-2004 с изм. № 1–3) алкилбензилдиметиламмоний хлорид, ОКСИПАВ 1214С.50 (ТУ 2482-007-04706205-2006 с изм. № 1–9) алкилдиметиламинооксид.

Твердость определялась по методу Барколя в модификации "ТПБа", путем внедрения на образец твердосплавного стержня с углом 26° при вершине и минимальным диаметром 0,157 мм (ГОСТ 9013-59, ASTM B648-2000, ASTM D-2583).

Обсуждение результатов

Полученные данные (табл. 1) свидетельствуют о том, что твердость образцов, отвержденных аминоалкилфенолом при обычной температуре, существенно выше, чем для отвержденных ГМДА при повышенной температуре. Возможно, это связано с тем, что пластификатор ЭДОС, в котором растворяется ГМДА, приводит к снижению твердости [2]. Это указывает на перспективность использования аминоалкилфенола для композиций машиностроительного

назначения, наполненных волластонитом.

Таблица 1

Твердость эпоксидных материалов различного состава

Состав эпоксидного полимера, масс.ч.	Твердость, HBa
90ЭД-20+30АФ-2	30,8
90ЭД-20+15ГМДА	9,8
90ЭД-20+10волластонит+15ГМДА	17,2
90ЭД-20+10волластонит+30АФ-2	41,4
90ЭД-20+10Волластонит(АЛКАПАВ1214С.50) +30АФ-2	43
90 ЭД-20+10Волластонит(АЛКАПАВ1214С.50) +15ГМДА(в растворе ЭДОС)	24,2
90ЭД-20+10Волластонит(ОКСИПАВ1214С.50) +30АФ-2	40
90ЭД-20+10Волластонит(ОКСИПАВ1214С.50) +15ГМДА(в растворе ЭДОС)	38,6
90ЭД-20 +10Волластонит(КАТАПАВ1214С.50)+30АФ-2	43,2
90ЭД-20+10Волластонит(КАТАПАВ1214С.50) +15ГМДА(в растворе ЭДОС)	24,8

Введение волластонита увеличивает твердость эпоксидных композиций. Этот эффект имеет место при применении аминных отвердителей, как холодного (АФ-2), так и горячего (ГМДА) отверждения. Следует отметить, что максимальное увеличение твердости в результате модификации имеет место при использовании поверхностно-активированного волластонита, по сравнению с природным. Причем, степень увеличения этого показателя выше в случае отверждения эпоксиполимеров ГМДА. Более значительное повышение твердости наблюдается при применении в качестве ПАВ алкилдиметиламинооксида при использовании в качестве сшивающего агента ГМДА, и алкилтриметиламмоний, алкилбензилдиметиламмоний хлоридов при применении АФ-2.

Заключение

Модификация эпоксидных материалов волластонитом обеспечивает повышение их твердости, что имеет важное значение при изготовлении штампов. Этот эффект выше при применении поверх-

ностно-активированного волластонита и отверждении гексаментилендиамином. В то же время более высокие показатели твердости имеют эпоксидные материалы, наполненные поверхностно-активированным волластонитом и отвержденные аминоалкилфенолом АФ-2.

Список литературы

1. *Быков Е.А.* Использование современных материалов ЗАО «Геоком» для производства керамических изделий / Е.А. Быков, Т.Е. Самсонова // Стеклокерамика, 9, 2006. – С. 36–39.

2. *Готлиб Е.М.* Волластонит как эффективный наполнитель композиционных материалов: учеб. пособие / Е.М. Готлиб, Е.С. Ильичева, А.Г. Соколова. 2013. – 87 с.

3. *Готлиб Е.М.* Эпоксидные сополимеры, отверждение, модификация, применение в качестве клея / Е.М. Готлиб, К.А. Медведева, Е.Н. Черезова, Е.С. Ильичева // Вестник Казанского технологического университета, Т. 17, 20, 2015. – С. 82–85.

INFLUENCE OF MODIFICATION OF EPOXY COMPOSITIONS BY WOLLASTONITE ON HARDNESS OF MATERIALS FOR MACHINE-BUILDING

Khasanova A.

Supervisor: E. Galimov[1], Doctor of Technical Sciences, Professor,
E. Gotlib[2], Doctor of Technical Sciences, Professor

([1]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan,
[2]Kazan National Research Technological University, Kazan)

The influence of modification of epoxy compositions with wollastonite on the hardness of the resulting compositions was studied by the method of Barkol. It has been established that modification of both natural and surface-activated wollastonite increases this index, and to a greater extent when hexamethylenediamine is used as a hardener.

УДК 656.13.054

РАЗРАБОТКА СПОСОБА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Шарафутдинов Р.Ф., Янтыков А.А.
Научный руководитель: Н.Я. Галимова, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Разработан способ контроля и управления технологическим процессом формирования покрытий на основе термореактивных полимерных порошковых композиций.

Целью работы является контроль и управление завершающим этапом технологического процесса формирования покрытий на основе термореактивных полимерных порошковых композиций. В технологической практике при нанесении покрытий на основе полимерных порошковых композиций (ППК) осуществляется подготовка обрабатываемой поверхности изделия, нанесение слоя ППК и окончательное формирование покрытия. Следует отметить, что качество покрытий зависит, в первую очередь от завершенности стадии формирования покрытия, способов контроля и управления этим процессом. Особенно важен контроль параметров технологического процесса при нанесении покрытий на основе термореактивных композиций, когда на стадии отверждения происходят физико-химические превращения в течение определенного времени при достижении температуры полимеризации [1, 2].

Для отверждения порошковых покрытий чаще всего применяются излучатели, работающие в диапазоне длин волн от 760 до 1500 нм. Протекание процесса отверждения покрытия отслеживается путем регистрации теплового излучения, испускаемого от поверхности порошкового покрытия. Тепловое излучение, регистрируемое инфракрасной оптической системой, преобразуется в электрические сигналы, которые затем формируются в изображения с различными оттенками цветов, по ним визуально оценивают качество покрытия

и после их электронной обработки, для достоверности оценки, сравнивают по опорным изотермам, которые должны быть составлены заранее для каждого типа порошковой композиции. Однако при использовании этого способа возникают ошибки при оценке качества покрытия только по цветовым оттенкам поверхности. Составление базовых изотерм для каждого типа порошковых композиций с целью повышения достоверности оценки качества покрытия, является слишком трудоемким процессом, особенно в производственных условиях.

Назначение разработанного способа заключается в повышении качества получаемого покрытия путем дискретного измерения, регистрации и контроля одновременно физических и технологических параметров состояния покрытия. Поставленная цель достигается тем, что процесс отверждения покрытия отслеживают методом регистрации теплового излучения, испускаемого поверхностью покрытия. Тепловое излучение измеряют оптической системой, сканируют и преобразуют в электрические сигналы. При этом регистрируют изменение температуры в камере полимеризации по времени.

Отличительной особенностью способа является то, что электрические сигналы, пропорциональные изменению интенсивности теплового излучения формирующегося покрытия, представляют в виде графической зависимости от температуры в камере, которая также представляется в виде графика по времени наступления термодинамического равновесия при заданных значениях температуры и времени формирования покрытия. При этом одновременно производятся измерение и регистрация текущих значений параметров, определяющих физическое состояние покрытия в данный момент – тепловое излучение, толщина и коэффициент отражения покрытия. Полученные данные параметров физического состояния покрытия представляются в виде графической зависимости от температуры в камере. Затем визуально производят сопоставление этих графических зависимостей с диаграммой изменения температуры в рабочем объеме по времени на экране электронного устройства, а также осуществляется математическая обработка текущих значений толщины, коэффициента отражения покрытия и теплового излучения. Далее определяется время наступления стабилизации этих значений

по полученным графикам на экране электронного устройства управления, и вычисляются среднестатистические значения времени наступления состояния стабилизации толщины, коэффициента отражения покрытия и интенсивности теплового излучения. Вычисленное время наступления состояния стабилизации толщины, коэффициента отражения покрытия и теплового излучения сопоставляется со значением времени установления термодинамического равновесия в рабочем объеме на диаграмме зависимости температуры по времени и определяется разность этих значений. Полученные величины суммируют со значением времени выхода на температуру полимеризации, временем полимеризации заданной ранее по технологическому регламенту.

Время окончательного формирования покрытия определяется по равенству или разнице полученных значений параметров путем их математической обработки. При достижении их стабильных значений, формируются управляющие сигналы процессом полимеризации. Скорость нагрева в рабочей камере поддерживается равной $V_н$ = 4,5-4,7°С/мин для обеспечения постоянства диаграммы изменения температуры по времени. На рисунке представлена схема электронного устройства измерения, регистрации и визуального контроля состояния покрытия, формирующегося на поверхности изделия из термореактивных ППК в объеме рабочей камеры, путем подвода тепловой энергии (Т).

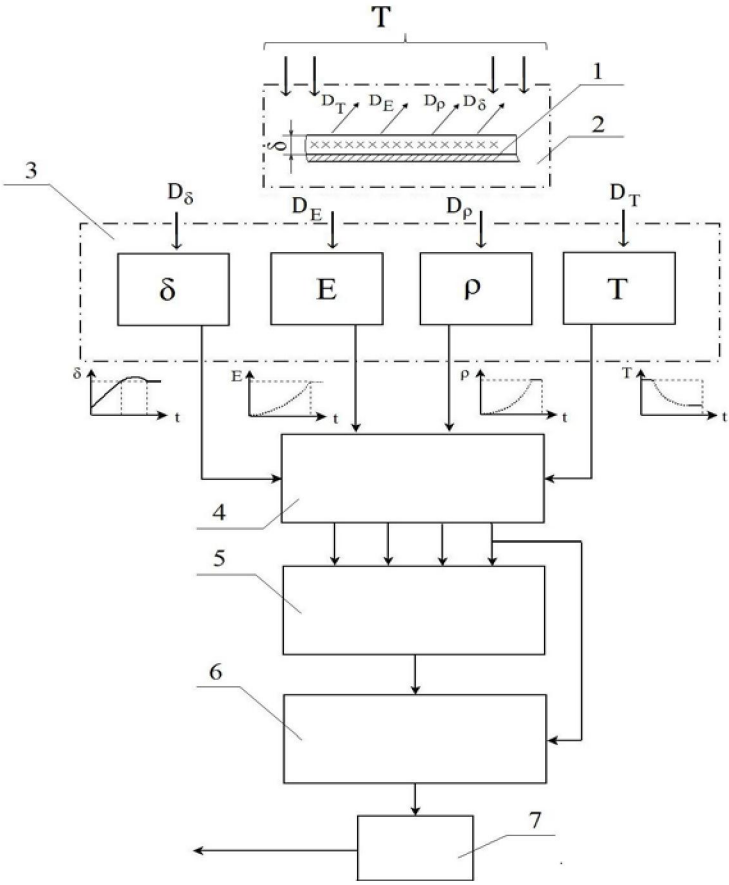


Рис. Схема электронного устройства:
1 – поверхность изделия; 2 – рабочая камера; 3 – электронное устройство; 4 – устройство сравнения; 5 – устройство вычисления; 6 – дополнительное устройство сравнения; 7 – блок управления

Измеряемые с определенным интервалом по времени значения температуры в камере и параметры физического состояния покрытия: интенсивность теплового излучения, коэффициент отражения, толщина слоя с использованием электронного устройства преобразуются в электрические сигналы пропорциональные значениям

δ, E, ρ соответственно, и представляются в виде графиков их изменения по времени.

Сущность разработанного способа контроля и управления процессом отверждения порошковых композиций заключается в следующем. В процессе нагрева порошковой композиции происходит как поглощение тепла, так и тепловое излучение его поверхности. По мере изменения физического состояния слоя (оплавление, растекание, отверждение) под воздействием температуры будет меняться интенсивность теплового излучения E, измеряемая оптической системой и представляемая в виде его зависимости от времени на экране электронного устройства управления. Другим показателем физического состояния порошкового слоя, нанесенного в электростатическом поле, является его толщина δ, материал которого в первоначальный момент времени характеризуется определенной рыхлостью. По мере нагрева слой начинает уплотняться и переходит в вязкотекучее состояние с образованием монолитного слоя, толщина которого с течением времени постепенно стабилизируется. Следующий показатель физического состояния слоя покрытия – коэффициент отражения ρ луча света от его поверхности. В процессе формирования покрытия этот показатель также меняет свою величину от минимума до максимального значения к окончанию процесса полного отверждения. Переход порошкового слоя в сплошную монолитную пленку характеризуется тем, что первоначальный слой сильно рассеивает падающие лучи света.

По мере образования вязкотекучего слоя коэффициент отражения возрастает и затем стабилизируется. Значение коэффициента отражения на графике представляется в виде линии, параллельной оси координат. Из-за инерционности процессов аккумулирования тепла, присущей любому оборудованию нагрева в замкнутом объеме, будет происходить приращение заданной температуры $T_{п}^{з}$ на величину ΔT в течение времени $\Delta t_{ин}$ по отношению к заданным директивным технологическим параметрам процесса формирования покрытия из полимерных порошковых покрытий. Затем в течение определенного времени температура $T_{п}^{з}$ в рабочем объеме стабилизируется, то есть наступает момент термодинамического равновесия

системы, но при этом процесс пленкообразования еще не прекращается. Окончательное формирование покрытий происходит по достижении установленных технологически температуры и времени. Однако при этом не учитывается влияние на процессы формирования покрытий приращения температуры в рабочем объеме камеры за определенный промежуток времени.

Предлагаемый способ контроля и управления процессом отверждения покрытий предусматривает измерение, регистрацию и контроль значений параметров физического состояния покрытия в виде электрических сигналов, пропорциональных изменению значений интенсивности теплового излучения поверхности покрытия, представления ее графически в зависимости от температуры в рабочем объеме. При этом одновременно производится так же измерение и графическая регистрация зависимости значений толщины покрытия и коэффициента отражения от температуры. Далее осуществляется сопоставление графических зависимостей указанных параметров с диаграммой изменения рабочей температуры в камере и путем математической обработки электронным устройством управления текущих значений параметров физического состояния покрытия, определяются среднестатистические величины времени наступления стабилизации указанных параметров. Затем полученные величины сравниваются со значением времени стабилизации температуры в рабочем объеме после завершения инерционных процессов, и определяется их сумма по результатам сравнения. После этого производятся математические вычисления путем последующего суммирования полученной величины со значением времени выхода на режим полимеризации, установленным графически, затем сравнение со значением заданного технологически временем окончания процесса. После чего вычисляются разности полученных среднестатистических значений времени стабилизации параметров и времени установления термодинамического равновесия в рабочем объеме камеры, то есть времени стабилизации рабочей температуры после окончания инерционных процессов. В заключение выполняется суммирование этих разностей со значением времени наступления заданной технологически температуры полимеризации. Момент окончательного отверждения полимерного покрытия определяется

по равенству или разнице вычисленной величины времени с заранее установленным временем окончания процесса формирования покрытия, и корректируется по результатам выполнения математической обработки графических и измеряемых при этом величин.

Список литературы

1. *Галимова Н.Я., Шарафутдинов Р.Ф., Тукбаев Э.Е., Тахавиев М.С., Галимов Э.Р.* и др. Технология и оборудование для получения комбинированных покрытий на изделиях сложной конфигурации Материалы международной конференции «International Scientific and Methodological Conference». – Mariupol: 2016. – С. 74-77.

2. *Галимова Н.Я., Тукбаев Э.Е.* Разработка технологии и оборудования для нанесения полимерных порошковых покрытий специального назначения. Научные ведомости СПбГПУ, № 4-2(89), 2009. – С. 38–44.

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF CONTROL AND MANAGEMENT PROCESS OF OBTAINING POLYMERIC POWDER COATINGS

Sharafutdinov R., Yantykov A.
Supervisor: N. Galimova, PhD, Docent
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

A method for controlling and controlling the technological process of forming coatings based on thermosetting polymer powder compositions has been developed.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНОГО ПОРШНЕВОГО ПНЕВМОДВИГАТЕЛЯ

Хабаров А.Е.
Научный руководитель: А.Р. Абзалов, канд. техн. наук;
О.В. Трофименко, ст. преподаватель
(Зеленодольский институт машиностроения и информационных технологий (филиал), Зеленодольск)

Темой работы является разработка конструкции и технология изготовления многосредного поршневого двигателя. Моделирование, обработка деталей и управляющая программа для станков с ЧПУ выполнена в программе Siemens NX 8.5.

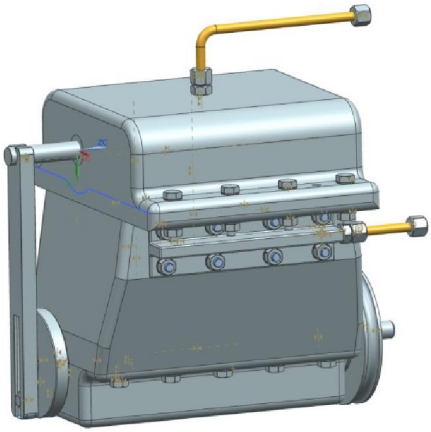


Рис. 1. Трёхмерная модель «Двигателя поршневого многосредного»

Изображённая экспериментальная модель является двигателем внешнего сгорания, преобразующая энергию нагретого пара в механическую работу возвратно-поступательного движения поршня, а затем во вращательное движение вала.

В данной работе рассматривается конструкция многосредного двигателя и последующее изготовление его деталей. Актуальностью проекта является то, что при современном развитии техники

остро стоит вопрос о необходимости создания энергетических установок, в которых могут быть использованы различные источники тепловой энергии, не загрязняющие окружающую среду и имеющие низкий уровень шума и вибрации.

В качестве топлива может использоваться сжатый воздух, водяной пар, продукты сгорания отходов промышленного производства, выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания. Всё это является преимуществом данной модели и предоставляет возможность применения двигателя практически в любых условиях.

Также уникальностью механизма является система впуска рабочей среды в полость цилиндра. Крутящий момент от коленчатого вала через тягу передаётся на вспомогательный вал, расположенный во впускной крышке. В свою очередь на вспомогательном валу под определённым углом закреплены специальные клапаны, регулирующие подачу рабочей среды в цилиндр. Угол расположения может регулироваться в зависимости от режима работы двигателя.

Далее для деталей «Поршень» и «Шатун» смоделирована механическая обработка. Этот этап работы доступен в среде Обработка программы Siemens NX 8.5. Там были подобраны режимы резания, режущий инструмент, выполнены карты эскизов и выведена управляющая программа для станков с ЧПУ.

Siemens NX является одной из наиболее распространённых в мире САПР, в которой сочетаются разнообразные функции, конструкторско-технологического обеспечения производства.

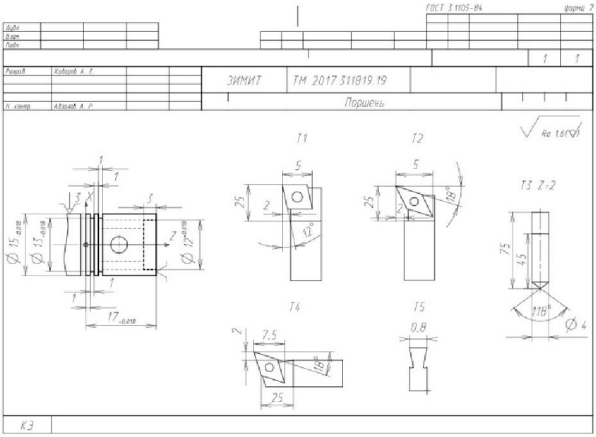


Рис. 2. Карта эскизов детали «Поршень»

Список литературы

1. *Трофименко О.В., Хабаров А.Е., Абзалов А.Р.* Опытное Производство Альтернативных Энергоустановок // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 12-2. С. 279–282;

2. *Иванова В.Н., Абзалов А.Р.* Нормирование точности в машиностроении с применением систем CAD/CAM/CAE: учебное пособие // В. Н. Иванова, А. Р. Абзалов; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Казанский нац. исслед. технический ун-т им. А. Н. Туполева – КАИ». Казань, 2011.

DESIGN AND MANUFACTURING OF COMPACT PISTON AIR ENGINE

Khabarov A.
Supervisor: A. Abzalov, PhD
(Zelenodolsk Institute of Engineering and Information Technology (branch), Zelenodol'sk)

The theme of final qualifying work is to develop design and technology of manufacturing the multiple working environment piston engine. Modeling,

machining of parts and control program for CNC machine tools made in the program Siemens NX 8.5.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА РОБОТА

Цыкунова Е.Е.
Научный руководитель: Р.Ш. Хасанов, канд. экон. наук, профессор; А.Р. Абзалов, канд. техн. наук
(Зеленодольский институт машиностроения и информационных технологий (филиал), Зеленодольск)

В результате выполнения работы была разработана конструкция и технология изготовления захватного устройства робота. Моделирование, обработку и программу для станков с ЧПУ захватного устройства робота выполняла в программе Unigraphics NX 8.5.

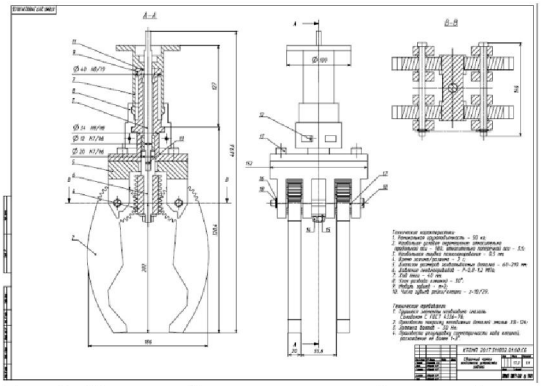


Рис. 1. Чертеж «Захватное устройство робота»

Захватное устройство промышленного робота предназначено для закрепления и удерживания в определенном положении обрабатываемой заготовки в процессе транспортировки ее рукой робота в рабочую зону станка или из нее. Как правило, захват и закрепление заготовки, а также перенос ее после обработки на станке осуществляется по жесткой программе, предусматривающей строго ориентированное и фиксированное положение этой заготовки. Такая ориен-

тация и фиксация определяется либо точным размещением ее на тактовом столе, либо рабочим положением шпинделя металлорежущего станка.

Моделирование, обработку и программу для станков с ЧПУ захватного устройства робота выполняла в программе Unigraphics NX 8.5.

Unigraphics NX- это программа, которая позволяет моделировать изделия любой степени сложности и размерности. Функционал позволяет автоматизировать процессы разработки дизайна от оцифровки до анализа технологических процессов изготовления элементов внешнего облика и проектирования соответствующей оснастки.

Были произведены подробные расчеты усилия зажима заготовки в ЗУ, суммарного удерживающего момента, расчет на прочность, расчет на контактные напряжения, расчет размерных цепей и т.д.

Размерной цепью называется совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное положение элементов геометрии (поверхностей, плоскостей симметрии) одной детали или нескольких деталей в сборке.

Приведенный в проектно-пояснительной, анализ технологичности изделия, подбор оборудования и оснастки, расчет натягов втулок, расчет усилия запрессовки, соответствующих современному уровню развития машиностроения.

Многообразие факторов, которые приходится учитывать при конструировании или выборе захватного устройства, затрудняет поиск оптимальных решений. Задача выбора оптимальной конструкции и типа ЗУ связана прежде всего со способами захвата и удержания объекта, а также совмещением этих функций с выполнением вспомогательной или основной технологической операции, в частности, контроля положения, формы и качества изготавливаемого объекта. Такой подход, обеспечивающий совмещение контрольных, транспортных и основных переходов, позволяет оптимизировать состав технических средств в робототехнической системе и повысить производительность технологических процессов.

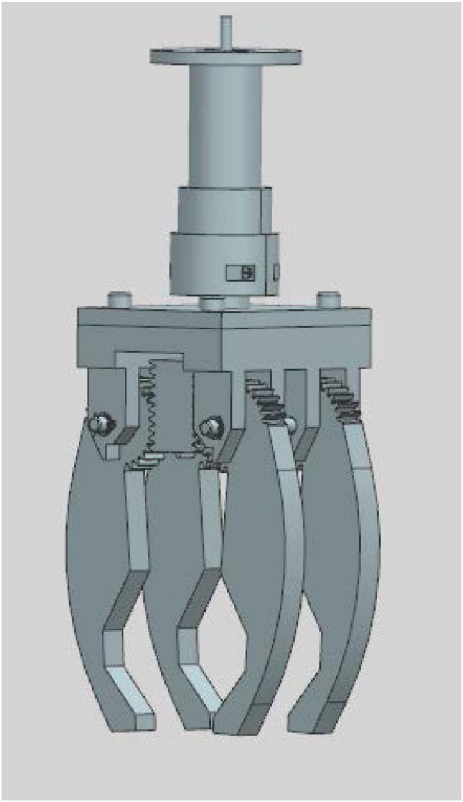


Рис. 2. 3D модель «Захватное устройство робота»

Список литературы

1. *Абзалов А.Р., Обайди Л.М., Печенкин М.В.* Проектирование операций обработки на трехкоординатных станках с ЧПУ в условиях опытно-экспериментального производства // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С. 185;

2. *Иванова В.Н., Абзалов А.Р.* Нормирование точности в машиностроении с применением систем CAD/CAM/CAE: учебное пособие // В.Н. Иванова, А.Р. Абзалов; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Казанский нац. исслед. технический ун-т им. А. Н. Туполева - КАИ". Казань, 2011.

DESIGN AND MANUFACTURING OF THE GRIPPING DEVICE OF THE ROBOT

Tsykunova E.
Supervisor: R. Khasanov, PhD, Associate Professor; A. Abzalov, PhD
(Zelenodolsk Institute of Engineering and Information Technology (branch), Zelenodol'sk)

As a result of execution of the qualification work was developed design and production technology of the gripper of the robot. Modeling, processing and program for the CNC gripper of the robot was performed in the program Unigraphics NX 8.5.

ПОДСЕКЦИЯ 2.2

ТЕХНОЛОГИЯ АВИАСТРОЕНИЯ И КОМПОЗИТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 678

ANALYSIS OF KINETIC FEATURES OF CURING IN EPOXY ANHYDRIDE BINDERS FOR GLASS REINFORCED PLASTICS

Zalyalova G.
Supervisor: L. Amirova, PhD, professor,
G. Zakirova, PhD, associate professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

This paper gives a detailed analysis of our research. It is proved that the curing modes chosen on the basis of a kinetic model make it possible to obtain a composite material with embedded properties.

Introduction

The properties of composite materials based on polymer matrices depend on many factors. We assume usefulness of matrix curing to be the most significant of them. Therefore, obtaining a matrix with given properties in the process of curing is an important problem. Currently, there are many ways to analyze the behavior of a binder during its curing. It seems to us that model selection and model-free analyzes are the most widely used procedures for determining the kinetic parameters of reaction. Our research has focused on model selection.

Model selection analysis

We tested our assumption using the kinetic model built in specialized software Thermokinetics 3 (NETZSCH). Then input data for modeling were obtained in the instrument DSC 204 F1. Analysis of the viscosity increase was carried out in a dynamic mechanical analyzer DMA Q800. Preliminary analysis of curing kinetics of systems showed that the energy of the systems based on the industrial catalyst 2MI is slightly higher than that on the basis of a new catalyst F15 that we had synthesized earlier. When studying the lifetimes of systems, it was found that a system based on the F15 catalyst exhibits a higher activity at elevated temperatures, whereas with low temperatures it has high lifetimes. Thus, the results suggest that this fact has a positive effect on processability of this catalyst.

Moreover, life-time studies complete the first stage of curing in such a way as to avoid internal stresses. To examine the behavior of a binder during the curing process for simulation according to the selected model, a model of binder curing reaction has been built. As a result, analysis of thermophysical characteristics of a cured composite showed the reliability of our prediction. Also, mechanical testing of composite samples for compression was carried out. Composite samples cured according to the selected regime showed a compression strength of 160 MPa, an elastic modulus of 35 GPa, and a glass transition temperature of 124 °C.

Conclusions

1) The studies of the effect of oligomer and hardener on heat resistance of polymer allow us to choose the composition for a binder.

2) The designed kinetic model allows us to predict changes in the properties of a binder during the curing process.

3) It is proved that the curing modes chosen on the basis of a kinetic model make it possible to obtain a composite material with embedded properties.

4) Thermophysical tests of manufactured samples showed the reliability of prediction of the constructed model.

REFERENCES:

1. *Prime R. B.* Kinetic Analysis of a Fast Reacting Thermoset System / R. B. Prime, C. Michalski, C. M. Neag // Thermochimica Acta. – 2005. – № 429. – P. 213.

2. *Amirova L. R.* Kinetics and mechanistic investigation of epoxy-anhydride compositions cured with quaternary phosphonium salts as accelerators / L. R. Amirova, A. R. Burilov, L. M. Amirova, I. Bauer, W. D. Habicher // Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry. – 2016. – V. 54. – P. 1088.

АНАЛИЗ КИНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИАНГИДРИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Залялова Г.М.

Научный руководитель: Л.М. Амирова,
докт. хим. наук, профессор; Г.Ш. Закирова, канд. пед. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

В данной статье дан подробный анализ наших исследований. Доказано, что режимы отверждения, выбранные на основе кинетической модели, позволяют получить композиционный материал с заданными свойствами.

УДК 678

THE DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR MONITORING THE CURING OF RESPONSIBLE COMPOSITE STRUCTURES BASED ON DIELECTRIC ANALYSIS

Logacheva A.
Supervisors: V. Batrakov, PhD, associate professor,
G. Zakirova, PhD, associate professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tuplev – KAI, Kazan)

This paper summarizes the results of study of polymer composite materials. Examining the properties of different composites using Dielectric Cure Monitoring we realize the need to develop a methodology for studying the curing process for the production of composite aerospace components.

Introduction

At present, the production of polymer composite materials (PCM) is one of the most intensively developing industry. At the same time, there is a tendency not only to a quantitative increase in the output of products from PCM, but also to finding new areas of their application.

Increasing competition in the PCM market requires manufacturers to combine as high quality as possible with a minimum price, which is largely determined by the optimal curing conditions and depends on the properties of raw materials. The properties of the initial thermosetting material may vary during storage, whereby the resulting composite on the curing stage may have different properties, which leads to a mismatch between the calculated curing regime and is a source of rejection and wasteful use of production resources. In this regard, there is a need to monitor the technological mode of curing in real time.

The purpose of the study and scientific novelty

The purpose of this study is to increase the accuracy and reliability of control in making the responsible details from composite materials.

Scientific novelty is, firstly, measurement of properties of dielec-

tric permeability of composite materials during the moulding of the structure. Secondly, obtaining an accurate correlation between the molding time and the degree of polymerization. Finally, simplicity and efficiency in determining the deviation of the chemical composition of the resin (that guarantees the highest quality of responsible details for aviation and space industries).

Dielectric Cure Monitoring is a technique for investigating the processing behavior, physical and chemical structure of thermosetting resins and other polymers by measuring the changes in the dielectric properties of the material.

Control in the curing of a composite detail is necessary, initially, to follow up non-uniformity heating of a composite detail. Then it helps to understand the resin composition in the presence of sensors and to make provision equal curing for the manufacture of precision products.

The curing of a composite detail controlled by DIAMon Plus™ is developed in INASCO Hellas (Greece). In Russia this equipment is located in the Center of Composite Technology (Kazan). The cure process of thermosetting resins can be used in an autoclave processing, RTM (Resin Transfer Moulding) and pultrusion.

Conclusion

The results of our research show that it is necessary to develop a methodology for studying the curing process for the production of composite aerospace components, through combined monitoring of resin cure, resin flow, pressure and temperature.

References

1. *Pantelelis N., Maistros G.* Process monitoring for liquid composite moulding using durable sensors // In Proceedings of the 27th Risoe International Symposium on Materials Science, Roskilde, Danemark, 2006.

2. *Reed W. F., Alb A. M.* Monitoring from polymerization reactions: Fundamentals to applications. Wiley, 2013.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОТВЕРЖДЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ

КОМПОЗИЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА БАЗЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Логачева А.С.
Руководители: В.В. Батраков, канд. техн. наук, доцент,
Г.Ш. Закирова, канд. пед. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

В данной статье обобщены результаты изучения полимерных композиционных материалов. Изучая свойства различных композитов с использованием диэлектрического контроля отверждения, мы осознаем необходимость разработки методики изучения процесса отверждения для производства композиционных аэрокосмических компонентов.

УДК 678.073

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИПРОПИЛЕНА АРМИРОВАННОГО СТЕКЛОТКАНЬЮ

***Балькаев Д.А.*[а,б]*, Скрябнев Г.В.*[а]*, Беззаметнов О.Н.*[а]**
Научный руководитель: Л.М. Амирова, докт. хим. наук, профессор
([а] Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, ([б] Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань)

Целью данной работы являлось разработать технологию получения полипропилена армированного стеклотканью. В процессе работы проводились физико-механические испытания и применялся метод дифференциально сканирующей калориметрии.

Основной вклад в улучшение характеристик изделий и конструкций вносят полимерные композиционные материалы, армированные непрерывными углеродными, стеклянными, базальтовыми, полимерными и другими волокнами. На протяжении многих лет в качестве полимерной матрицы используются термореактивные материалы. Однако многокомпонентность термореактивных связующих, их ограниченная жизнеспособность, длительность процесса отверждения, многостадийность процесса переработки, недостаточная воспроизводимость свойств материалов, сложность утилизации брака и отходов переработки, а также наличие растворителей при переработке стимулировали поиски использования в качестве связующих термопластичных материалов.

Применение термопластичных матриц в составе армированных композиционных материалов имеет ряд преимуществ:

– неограниченный срок хранения полуфабриката (препрега, листа);

– отсутствие длительного процесса отверждения;

– возможность вторичной переработки и ремонтопригодность;

– отсутствие выделения растворителей;

– взрывобезопасность;

– не токсичность.

В связи с кратковременностью процесса нагревания заготовок процесс формования деталей из термопластичных композиционных материалов менее трудоемок, особенно в условиях крупномасштабного производства. Это упрощает получение деталей сложной конфигурации, повышает производительность оборудования, создавая предпосылки для его автоматизации.

В качестве связующих в композиционных материалах в зависимости от эксплуатационных свойств изделия могут быть использованы любые термопласты, допускающие технологические операции изготовления из них препрегов с последующим формованием деталей.

Так как для отработки технологии и метода изготовления изделий требуется набрать необходимый задел знаний и опыта работы в области армированных термопластичных материалов, в данной работе за основу взят термопластичный полимер общего назначения – полипропилен производства ПАО «Нижнекамскнефтехим» в связи с его общедоступностью, низкой стоимостью и легкостью в переработке.

В качестве объектов исследования выбран полипропилен марок 1262R, 8300G, 8300N, 8348SM, армирующим материалом являлась стеклоткань Т-10-14.

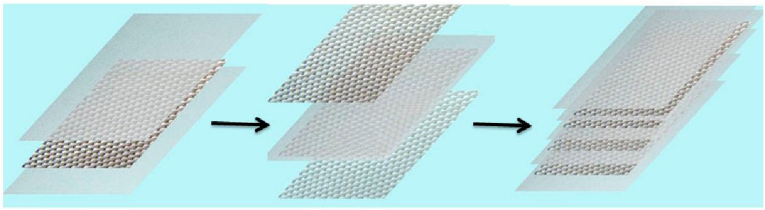


Рис. 1. Схема укладки слоев
полипропиленовой пленки и армирующей ткани

В работе приведена технология армирования полипропилена стеклотканью и предложена технология изготовления изделий.

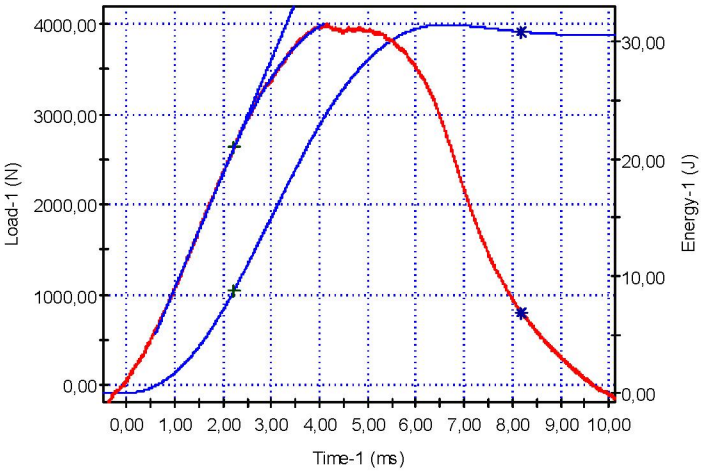


Рис. 2. Диаграммы зависимости
энергии удара и нагрузки от времени стеклопластика
на основе полипропиленовой матрицы

В ходе работы проведен ряд физико-механических испытаний: растяжение, трехточечный изгиб, удар падающим грузом и удар на маятниковом копре. Результаты физико-механических испытаний приведены в сравнении со стеклопластиком на основе эпоксидной матрицы.

RESEARCH OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF WOVEN GLASS FIBER FABRIC-POLYPROPYLENE COMPOSITES

Balkaev D.[a,b], Skryabnev G.[a], Bezzametnov O.[a]
Supervisor: L. Amirova, Doctor of Chemical Sciences, Professor
([a] Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev, Kazan,
[b] Kazan (Volga region) Federal University, Kazan)

The purpose of this work was to develop a technology for the production

of polypropylene reinforced with fiberglass. In the process of work, physical and mechanical tests were carried out and a differential scanning calorimetry method was used.

УДК: 620.22-419(063)+541.6(063)

УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ ДИСПЕРСНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Гафиятуллина С.И., Ибатуллин И.М., Камалов А.Н.
Научный руководитель: А.Ф. Магсумова, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева — КАИ, Казань)

В данной работе рассмотрено влияние углеродсодержащих частиц на технологические и функциональные свойства эпоксидного связующего. Показаны изменения реологических свойств и диэлектрических характеристик в результате наполнения эпоксидных композиций.

Применение углеродных наполнителей в качестве модификаторов является актуальным направлением в производстве изделий из композиционных материалов. Это связано с относительно широким диапазоном влияния на свойства как связующего, так и получаемой матрицы, и доступностью большинства применяемых наполнителей. К углеродсодержащим наполнителям относят различные дисперсные формы углерода, такие как: сажи, графитовые и шунгитовые порошки, углеродные нанотрубки (УНТ) и др.

Целью работы было изучение реологических свойств наполненных композиций, и диэлектрических свойств полимеров на их основе.

Основой для наполнения служил эпоксидный олигомер марки ЭД-22. Наполнителями были технический углерод (П234, П514, К354, Т900) и микро-дисперсный шунгитовый порошок.

Для изучения изменений вязкости в процессе наполнения был использован ротационный реометр Rheostress 6000. Для фиксации параметров диэлектрических характеристик наполненных полимерных образцов использовался векторный анализатор цепей E5071C фирмы Agilent Technologies.

При реологическом исследовании эпоксидных образцов концентрация наполнения варьировалась от 1 до 5 % масс. Измерение

проводилось по принципу плоскость-плоскость при двух основных режимах. В первом режиме отслеживалось изменение вязкости от изменения температуры, во втором случае наблюдалась зависимость вязкости от изменения скорости сдвига.

При измерении диэлектрических характеристик учитывались два параметра: диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь. Значения этих параметров помогают классифицировать получившийся полимер по свойству радиопрозрачности или радиопоглощения. Определяемые параметры фиксировались в диапазоне частот 8÷12 ГГц.

В результате реологических исследований был зафиксирован локальный минимум вязкости у образца с техническим углеродом П234 ниже, чем у исходного связующего при комнатной температуре. Аналогичный случай наблюдался в работах [1, 2]. При изменении скорости сдвига для образца с Т900 было характерно нарастание вязкости при повышении скорости как для жидкостей с неньютоновским типом течения. Для большинства образцов вязкость либо не менялась с изменением скорости сдвига, либо уменьшалась.

При определении диэлектрических характеристик применялись полимерные образцы с наполнением 10 и 30 % масс. Было показано влияние концентрации наполнителя и марки наполнителя на значение диэлектрических потерь. Наивысший показатель диэлектрической проницаемости ε' был у образцов с сажами П234 и П514. Тангенс диэлектрических потерь $tg\delta$ менялся незначительно, но практически для всех наполнителей его значение было менее 0,05.

Таким образом, полученные данные по изменению диэлектрических характеристик эпоксидных полимеров, наполненных углеродсодержащими частицами, могут быть полезны в получении дисперсно-наполненных композиционных материалов с заданными диэлектрическими параметрами.

Список литературы

1. *Корохин Р. А.* Вязкость дисперсно-наполненных эпоксидных композиций / Р. А. Корохин, В. И. Солодилов, А. В. Отегов, Ю. А. Горбаткина // Клеи. Герметики. Технологии. – 2013. – № 2. – С. 2–7

2. *Пыхтин А. А.* Влияние ультрадисперсных наполнителей на свойства низкомолекулярных жидкостей и композиций на основе эпоксидных олигомеров / А. А. Пыхтин, П. В. Суриков, Л. Б. Кандырин, В. Н. Кулезнев // Вестник МИТХТ. – 2013. – Т. 8, № 4. – С. 113–118

3. *Пыхтин А. А.* Технологические свойства нанодисперсий на основе эпоксидного олигомера марки der-330 и белой сажи марки бс-50 / А. А. Пыхтин, И. Д. Симонов-Емельянов // Тонкие химические технологии. – 2016. – Т. 11, № 4. – С. 63–68

4. *Белоусова Е. С.* Ослабление мощности электромагнитного излучения экранами на основе порошка шунгита в эпоксидном связующем / Е. С. Белоусова, Л. М. Лыньков // Труды северо-кавказского филиала московского технического университета связи и информатики. – 2014. – № 1. – С.151–154.

CARBON-CONTAINING DISPERSE FILLERS AND THEIR IMPACT ON THE PROPERTIES OF EPOXY COMPOUNDS

Gafiyatullina S., Ibatullin I., Kamalov A.
Supervisor: A. Magsumova, Candidate of Technical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan)

The effect of carbon-containing particles on the processing and performance of epoxy resin was considered in this paper. Changes in rheological properties and dielectric characteristics as a result of filling of epoxy compounds are shown.

УДК 620.19

ВЛИЯНИЯ ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЯ НА РАЗВИТИЕ МИКРОТРЕЩИН В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ С РАЗЛИЧНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Дмитриев С.А., Хамидуллин О.Л.
Научный руководитель: Л.М. Амирова, докт. хим. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технически университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Работа посвящена исследованию микротрещин в сечениях цилиндрических деталей. Изучалась динамика роста плотности трещин при термоциклирование. Обнаружена корреляция между количеством трещин и схемой армирования изделия, а также от температуры формования связующего.

Применение КМ в размеростабильных конструкциях космического назначения накладывает дополнительные требования по стабильности свойств данных конструкций в суровых условиях эксплуатации открытого космоса [1]. Совокупность постоянных перепадов температур от близких к абсолютному нулю, в не освещенных участках, до 100^0С, на освещенных, приводит к постоянным изменением геометрии конструкции, связанных с термическим расширением материала (КЛТР). Подобные деформации аналогичны механическим и вызывают напряжения в анизотропном теле композита. Разность КЛТР компонентов композита приводит к появлению микротрещин, необратимо влияющих на свойство изделия. Данные изменения накапливаются с ростом количества циклов термического нагружения [2].

В работе представлены микроскопические исследования сечения цилиндрической детали в процессе многократного термоциклирования в температурном диапазоне от -180 до $+100^0$С. В качестве объектов исследования были выбраны фрагменты цилиндрической детали аэрокосмического назначения с различным армированием на двух типах связующих: холодного и горячего отверждения. Микро-

скопические исследования сечений образцов проводились на оптическом микроскопе Olympus GX51. Обработка и анализ дефектов проводились в специализированном программном обеспечении SIAMS 700 (СИАМС, Россия) по собственной методике.

Первичный контроль перед началом термоциклирования показал небольшое количество продольных трещин на границах образцов, связанных с нарезкой. Плотность трещин определялась по формуле:

$$D_{cr} = \frac{L_{cr}}{P},$$

где Dcr – плотность трещин; Lcr – суммарная длина трещин, мкм; P – длина внутренней дуги рассматриваемого сектора.

Захолаживание проводилось в специально сконструированном сосуде, не допускающем контакт жидкого азота с поверхностью образца. Схема сосуда представлена на рисунке 1.

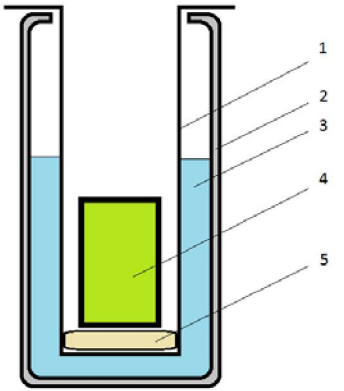


Рис. 1. Схема сосуда для захолаживания образцов.
1 – стакан для погружения; 2 – двухстеночный сосуд
с вакуумом между стенок; 3 – жидкий азот; 4 – образец;
5 – подложка из теплоизолирующего материала

В результате захолаживания в образце было обнаружено появление трещин, проходящих через несколько слоев композиционного материала. Пример подобной трещины представлен на рисунке 2.

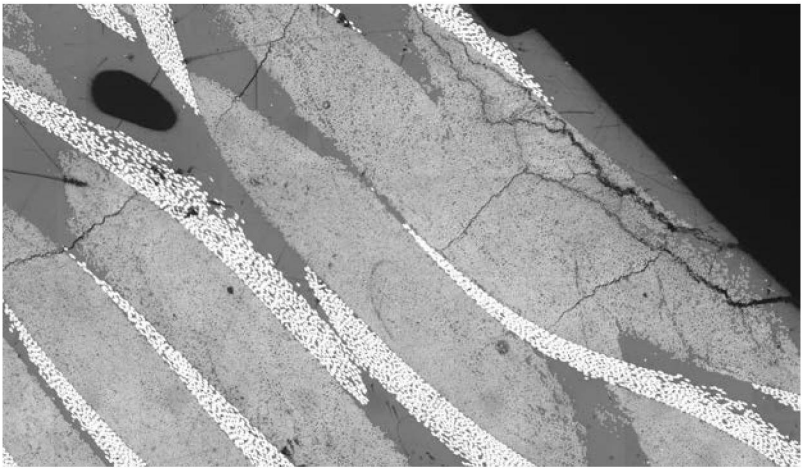


Рис. 2. Характерный сегмент образца с выраженными трещинами, появившимися в результате термоциклирования

В работе исследовалась условно однонаправленная схема армирования и образцы с различным содержанием косых волокон. Изделия пропитывались связующим отверждаемым при 90^{o}C (условно холодное) и 180^{o}C (горячее). Гистограмма плотности трещин после полного цикла термоциклирования представлена на рисунке 3.

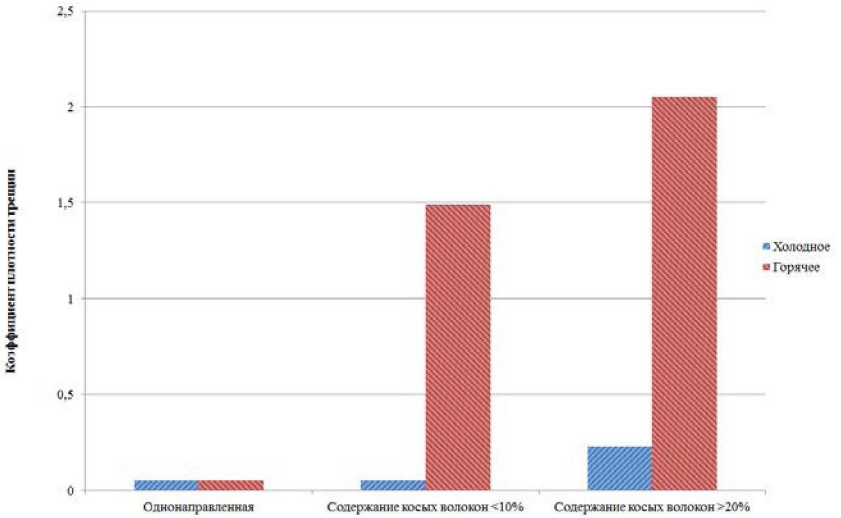


Рис. 3. Гистограмма плотности трещин
возникших в результате термоциклирования

Из рисунка 3 видно, что наибольшая плотность трещин увеличивается с ростом содержания косых волокон. Также следует отметить, что образцы на основе связующего отверждаемого при меньших температурах имеют резко меньшую плотность трещин.

Список литературы

1) *Jorge C.* Picometer resolution interferometric characterization of the dimensional stability of zero CTE CFRP Proc. of SPIE Vol. 7018 70183D-1

2) *Первушин Ю.С.* Деформативные свойства термоструктурно-нестабильных композиционных материалов при нестационарных тепловых воздействиях. Вестник УФГФТУ № 1, том 9, 2007 г. с. 3

IMPACT OF THERMAL CYCLING ON MICROCRACKS PROPAGATION IN COMPOSITES WITH DIFFERENT TYPES OF REINFORCEMENT

Dmitriev S., Khamidullin O.
Supervisor: L. Amirova, Doctor of Chemical Sciences, professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev, Kazan)

Microcracks in C-sections of cylindrical parts are investigated in this paper. Dynamics of cracks density growth under thermal cycling was considered. Correlation between number of cracks, reinforcement pattern and resin curing temperature was determined.

УДК 620.19

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА ОБЪЕМНОГО НАПОЛНЕНИЯ В ЗОНАХ СО СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

Дмитриев С.А., Хамидуллин О.Л.
Научный руководитель: Л.М. Амирова, докт. хим. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

В работе изучалась возможность оценки коэффициента объемного наполнения в зонах со сложной геометрией методом оптической микроскопии. Разработана и апробирована методика, основанная на учете плотности укладки волокон в композиционном материале и плотности микрофиламент в пучке волокна.

Производство изделий из КМ является сложной многостадийной операцией, требующей точного соблюдения технологических параметров на каждом этапе. Несмотря на современное оборудование, применяемое при производстве, часто невозможно избежать незначительных отклонений в структуре получаемого материала. Данные отклонения часто снижают работоспособность готового изделия, уменьшая его механические характеристики.

Основную несущую способность в композиционном материале несет армирующий материал. Именно схемой укладки и относительным количеством арматуры определяются физико-механические характеристики КМ. Количественной характеристикой для оценки соотношения матрицы и наполнителя является коэффициент объемного наполнения (Vf), который является одним из основных параметров при проектировании и изготовление изделия.

Расчетное содержание волокна достигается выкладкой требуемого количества слоев известной толщины и достаточным уплотнением преформы при формовании. Однако на практике многие детали имеют достаточно сложную геометрию и не могут быть достаточно уплотнены по всему объему. В таких деталях наблюдается локальное отклонение коэффициента наполнение от расчетного

значения. Для прогнозирования эксплуатационных характеристик таких изделий важно количественно контролировать данные отклонения. В изделиях с зонами со сложной геометрией также затруднен и контроль коэффициента наполнения. Чем сложнее геометрия изделия, тем меньшим количеством методов возможно оценить коэффициент. Контроль Vf производится путем измерения толщины заготовки (расчётное), либо разрушающими методами контроля, такими как кислотное разложение и выжигание матрицы композита. Расчетные методы трудно применить для изделий с зонами со сложной геометрией, а разрушающие методы не всегда применимы. К тому же требовательность данных методов к квалификации сотрудников и специально оборудованным химическим лабораториям не дают им получить широкое распространение на производственных площадках.

Метод оптической микроскопии зарекомендовал себя в качестве высокоточного метода анализа таких структурных характеристик КМ, как пористость и коэффициент наполнения. Еще одним преимуществом оптического метода контроля является возможность анализировать технологический припуск после обрезки изделия. Все структурные характеристики плоского сечения обрезанной части будут соответствовать характеристикам самого изделия, так как поверхности имели непосредственный контакт. Это дает возможность контролировать параметры неразрушающим методом.

В данной работе разработана методика контроля коэффициента наполнения оптическим методом и показана возможность контролировать Vf в зонах со сложной геометрией. Верификация методики проводилась на плоских образцах расчетными методами и методом химического травления связующего.

METHOD OF FIBER VOLUME FRACTION EVALUATION IN THE AREAS WITH COMPLEX GEOMETRY

Dmitriev S., Khamidullin O.
Supervisor: L. Amirova, Doctor of Chemical Sciences, professor

(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

A possibility to evaluate fiber volume fraction in the areas with complex geometry using optical microscopy is considered in this paper. A method based on analysis of fibers density in a composite and density of microfilaments in a bundle is developed and approved.

УДК 620.19

ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФОНИЕВЫХ СОЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭПОКСИАНГИДРИДНЫХ ПРЕПРЕГОВ С ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ОТВЕРЖДЕНИЯ

Залялова Г.М., Хамидуллин О.Л.
Научный руководитель: Л.М. Амирова, докт. хим. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

В работе изучались свойства ПКМ на основе эпоксидных олигомеров, ангидридных отвердителей и новых катализаторов. Показана возможность снизить температуру отверждения благодаря применению фосфониевого катализатора. Изучены теплофизические свойства полученного КМ.

Эпоксиангидридные композиции находят широкое применение в качестве связующих для получения стекло- и базальтопластиков. С целью повышения энергетической эффективности процесса отверждения в качестве катализаторов перспективно использовать фосфониевые соединения, однако свойства полимеров на основе таких композиций в настоящее время недостаточно изучены.

Целью данной работы является исследование свойств эпоксиангидридных полимеров, полученных в присутствии фосфониевых катализаторов.

Объектами исследования были выбраны 2 типа эпоксидных смол эпоксиновалачная смола DEN 438 и эпоксидиановые смолы ЭД-22 и DER 332 и три ангидридных отвердителя. Что касается катализаторов, был использован новый катализатор Ф15, который был синтезирован нами ранее.

Режимы и кинетика отверждения связующих исследовалась с помощью метода дифференциально-сканирующей калориметрии на DSC 204F1 Phoenix (NETZSCH). Кинетическая модель реакции процесса отверждения была подобрана с помощью программного обеспечения Thermokinetiks 3 (NETZSCH).

Вязкостные характеристики исследовались на динамическом

реометре RheoStress 6000 (HAAKE). Кинетические модели строились на основе данных полученных на обоих приборах. Теплофизические свойства были изучены на динамическом механическом анализаторе.

Регулирование вязкости проводилась путем изменения олигомерной основы и использования отвердителей с повышенной вязкостью. Вязкость связующего для препрега подбиралась исходя из рекомендаций [1] в диапазоне от 8 Па с, до 100 Па с. На рисунке 1 представлены реологические кривые выбранного состава с частичным сшиванием и без него.

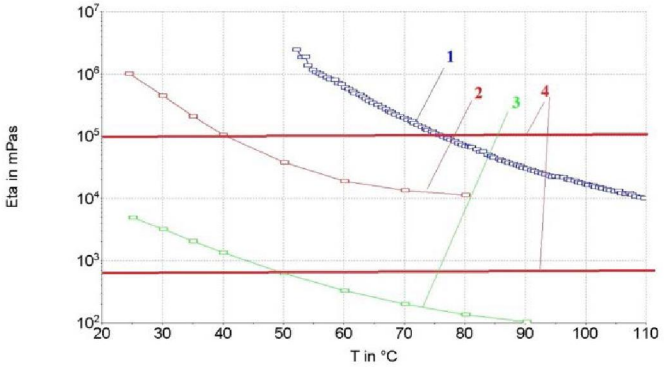
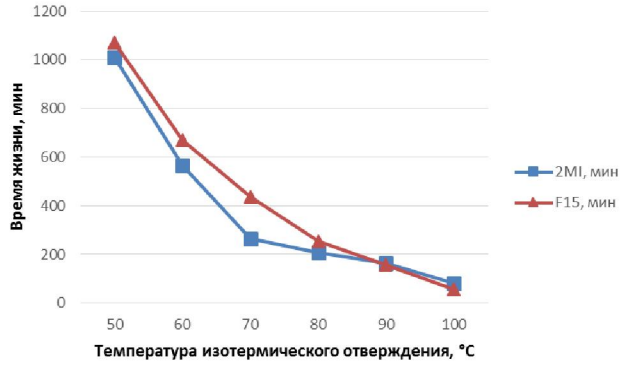


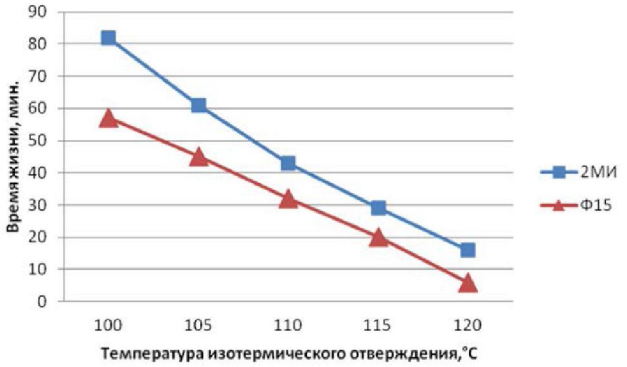
Рис. 1. Кривые изменения вязкости:
1 – Промышленного препрегового связующего,
2 – Смеси DEN-438-ГГФА-F15 с 10 % степенью конверсии,
3 – Смеси DEN-438-ГГФА-F157 с 0 % степенью конверсии,
4 – минимум и максимум технологического интервала вязкости

Анализ влияния смолы на теплофизические свойства пластика показал, что DEN438 имеет большую температуру стеклования, равную 146°С.

Для анализа влияния типа катализатора на отверждение системы был поставлен эксперимент по определению времени жизни системы.



а



б

Рис. 2. Влияние типа катализатора на жизнеспособность связующего D.E.R. 332 + изоМТГФА + катализатор:
а – при температурах < 100^{0}С; б – при температурах > 100^{0}С

При анализе графиков видно, что система на основе Ф15 проявляет большую активность при повышенных температурах. А при пониженных температурах наоборот имеет высокие времена жизни. Это положительно сказывается на технологичности применения данного катализатора, так как при изготовлении изделий является предпочтительным иметь большее время гелеобразования при температурах пропитки и хранения.

Исследования влияния типа катализатора на теплофизические

свойства изделия показали, что полимер с катализатором Ф15 дает наибольшие значения температуры стеклования и модуля упругости.

В работе проведен анализ влияния химической структуры и концентрации катализатора на теплофизические свойства исследуемых полимеров. Рассмотрено влияние химической природы и концентрации фосфониевых соединений на изменение динамического модуля и температуры стеклования в процессе циклических испытаний. Для выбранного ряда эпоксиолигомеров определена объемная усадка в процессе отверждения ангидридами карбоновых кислот с использованием выбранных катализаторов. Изучено водопоглощение и изменение теплофизических свойств при воздействии различных агрессивных сред. Получены зависимости исследованных свойств от химического строения и концентрации катализатора.

На основе проведенных исследований предложены оптимальные одноупаковочные эпоксиангидридные составы с фосфониевыми катализаторами для получения связующих с повышенными эксплуатационными свойствами. Изучены смачивающая и пропитывающая способность связующих стекло- и углеволокон.

Список литературы:

1. *Han S., Wang K.K., Hieber C.A.* Characterization of the Rheological Properties of a Fast-Curing Epoxy-Molding Compound. // J. Rheol., 1997, v. 41, No 2, pp. 177 – 195.

APPLICATION OF PHOSPHONIC SALTS FOR MANUFACTURE EPOXYANHYDRIDE PREPREGS WITH REDUCED CURING TEMPERATURE

Zalyalova G., Khamidullin O.
Supervisor: L. Amirova, PhD, professor
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan)

This paper, the properties of PCM based on epoxy oligomers, anhydride

hardeners and new catalysts have been studied. It is shown that the curing temperature can be lowered by using a phosphonium catalyst. Thermophysical properties of the obtained CM were studied.

УДК 620.22

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ

Нуртдинов А.С., Ковалев В.В., Сунгатуллин Р.Н.
Научный руководитель: К.А. Андрианова, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Показана возможность получения стеклопластиков с высокими механическими и светопрозрачными свойствами. Изучено влияние различных факторов на светопрозрачность стеклопластиков, получаемых методом УФ-полимеризации.

С момента своего появления стеклопластики быстро завоевали репутацию отличного конструкционного материала, сочетающего высокие механические свойства с относительно небольшим объемным весом. Основными компонентами стеклопластика являются стеклянное волокно (наполнитель) и синтетическая смола (связующее). Анализ литературы показал, что на сегодняшний день одним из перспективных направлений во многих областях является получение светопрозрачных стеклопластиков, однако здесь есть ряд затруднений.

На прозрачность стеклопластиков оказывает влияние несколько факторов, таких как, прозрачность связующего, показатель преломления связующего и наполнителя и т.д. Светопропускание стеклопластиков зависит и от технологических факторов: типа замасливателя, температурного режима при отверждении, качества пропитки стекловолокнистого наполнителя связующим [1].

Целью данной работы было исследование возможности получения светопрозрачного стеклопластика с высокими механическими свойствами. Для выполнения поставленной цели необходимо было решение следующих задач: 1) исследование влияния различных факторов на оптические свойства стеклопластиков; 2) изготовление стеклопластиков на основе УФ-отверждаемого связующего и стеклонаполнителя различными методами; 3) оптимизация технологии

получения светопрозрачного стеклопластика.

Одним из перспективных способов получения светопрозрачных стеклопластиков является метод УФ-отверждения, так как он не требует повышения температуры и изменения свойств связующего. В качестве компонентов для изготовления стеклопластика был выбран ряд УФ-отверждаемых смол: полиэфирная смола РО-4761 и эпоксивиниловая смола DION 9100. В качестве наполнителей использовали ряд стеклотканей конструкционного назначения.

Известно, что для получения высокой светопрозрачности стеклопластика идеальным случаем является полное равенство показателей преломления смолы и стекловолокна. Для определения оптических свойств связующих, наполнителей и готовых стеклопластиков использовали ряд методов. Показатели преломления связующих определяли методом рефрактометрии. Коэффициенты пропускания отвержденных связующих и готовых стеклопластиков определяли на спектрофотометре UVmini 1240 (SHIMADZU, Япония). Исследование показателей преломления смол и стеклотканей показало, что наиболее близкими показателями преломления обладают полиэфирная смола РО-4761 и стеклоткань Т- 10-80. Полученные спектры мутности отвержденных полимеров показали, что полиэфирная смола РО-4761 обладает более высокой прозрачностью (более низким коэффициентом поглощения), чем эпоксивиниловая смола DION.

На основе полученных данных по оптическим свойствам выбраны оптимальные компоненты и параметры формования для получения стеклопластиков с высокой светопрозрачностью и хорошими механическими свойствами. На основе выбранных компонентов изготовлены образцы стеклопластика разными методами. Показано, что инфузионные образцы обладают более высоким значением модуля упругости, однако поверхность этих образцов шероховатая, что приводит к увеличению светорассеяния и уменьшению прозрачности стеклопластика. Более оптимальными методами являются ручная выкладка и вакуумное формование.

Для конструкционных стеклопластиков важное значение имеют теплостойкость и модуль упругости. Модуль упругости и

теплостойкость получаемых образцов оценивали методом динамического механического анализа на приборе DMA Q800 (TA Instruments). Анализ результатов ДМА показал, что пост-отверждение повышает модуль упругости и теплостойкость стеклопластиков. Образцы, полученные инфузионным методом обладают более высоким модулем упругости,чем образцы, полученные ручной выкладкой. Однако, термообработка ведет к появлению желтизны, что нежелательно при изготовлении светопрозрачных конструкций.

Таким образом, по работе были сделаны следующие выводы:

1. Изучено влияние на светопрозрачность стеклопластиков ряда факторов: разность показателей преломления связующего и наполнителя, прозрачность компонентов, технология получения стеклопластика.

2. Исследование показателей преломления смол и стеклотканей показало, что наиболее близкими показателями преломления обладают полиэфирная смола РО-4761 и стеклоткань Т- 10-80.

3. Полученные спектры мутности отвержденных полимеров показали, что полиэфирная смола РО-4761 обладает более высокой прозрачностью (более низким коэффициентом поглощения), чем эпоксивиниловая смола DION.

4. На основе выбранных компонентов изготовлены образцы стеклопластика разными методами. Показано, что инфузионные образцы обладают более высоким значением модуля упругости, однако поверхность этих образцов шероховатая, что приводит к увеличению светорассеяния и уменьшению прозрачности стеклопластика. Более оптимальными методами являются ручная выкладка и вакуумное формование.

Список литературы

1. *Альперин В.И., Чапский К.А.* Стеклопрозрачные стеклопластики в строительстве. – Изд-во литературы по строительству, Москва. – 1968. – 174с.

INVESTIGATION OF A POSSIBILITY TO OBTAIN TRANSLUCENT STRUCTURES

FROM POLYMER COMPOSITES

Nurtdinov A., Kovalev V., Sungatullin R.
Supervisor: K. Andrianova, PhD
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

The possibility to obtain fiberglass with high mechanical and translucent properties was showed. The influence of various factors on the translucency of GRP obtained by UV polymerization was studied.

УДК 620.22-419(063)+678.7(063)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВЯЗУЮЩИХ В ВИДЕ ПЛЕНКИ

Петрунина Е.С., Хафизов В.А.
Научный руководитель: А.Ф. Магсумова, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева — КАИ, Казань)

В данной работе показана возможность изготовления пленочных связующих на основе смесевых композиций из высоковязких эпоксидных смол, отверждаемых аминным отвердителем. Результаты исследований комплекса технологических и физико-механических свойств изучаемых композиций позволили оптимизировать соотношение компонентов в пленочном связующем.

На сегодняшний день широко используют безавтоклавные методы формования. Одним из таких методов является технология RFI (Resin Film Infusion), которая предполагает собой использование безрастворных пленочных связующих на основе высоковязких смол [1, 2]. Прежде всего этот метод экономически выгоднее, так как использование технологии пропитки пленочным связующим ведет к снижению стоимости композитной конструкции, то есть снижению затрат на специальное оборудование, трудоемкость и энергоемкость автоклавной технологии. Кроме того, известно, что связующие на основе высоковязких смол обеспечивают будущему композитному изделию высокий уровень физико-механических и теплофизических свойств. Процесс пропитки пленочным связующим происходит в поперечном направлении, что ведет к сокращению пути и минимизации непропитанных участков в изделии. Дополнительным достоинством этого метода является то, что связующее в виде пленки заранее укладывается на оснастку в требуемом объеме, что обеспечивает в изделии из полимерных композиционных материалов (ПКМ) заданное соотношение наполнитель/матрица. Однако использование пленочных связующих в производстве композитных изделий методом RFI предполагает соответствие следующим требованиям

[2, 3]: пленочное связующее при T = 20÷25°C должно иметь достаточно высокую вязкость, чтобы оно находилось в состоянии пленки, а при температурах пропитки наполнителя вязкость связующего должна иметь значения порядка 0.4÷2 Па·с, также пленка должна быть эластичной для формирования деталей двойной кривизны и обладать контактной липкостью, обеспечивающей удержание ее на оснастке и межфазное взаимодействие контактирующих слоев ткани. Поэтому при разработке состава пленочных связующих были рассмотрены вопросы подбора марок смол и отвердителя, оптимального соотношения компонентов, входящих в состав связующего, оптимизация технологических режимов пропитки технических тканей и формования изделий на их основе, а также исследование реологических, теплофизических, физико- химических свойств высоковязких композиций в широком диапазоне температур.

Изучаемые композиции были приготовлены на основе смесей высокомолекулярных эпоксидных олигомеров ЭД-8, ЭД-10, ЭТФ, ЭХД, УП-643 и D.E.N.-438 в различных пропорциях. С помощью ротационного динамического реометра «Reostress 6000» фирмы «Haake» были исследованы реологические свойства приготовленных смесей при постоянной скорости сдвига в диапазоне температур T = 20÷120°C. Температуру стеклования эпоксидных смесей определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на ТГ/ДСК-анализаторе «STA 449C Jupiter» («Netzsch») с низкотемпературной приставкой при T<293 K. Смачивающую способность композиций при повышенных температурах оценивали на приборе DSA20E фирмы «Kruss». Анализ полученных результатов по исследованиям реологических, теплофизических и физико-химических свойств высоковязких композиций позволил подобрать марки смол, оптимальное их соотношение, удовлетворяющее вышеуказанным требованиям.

Изучено влияние различных аминных порошкообразных отвердителей на технологические и физико-механические свойства пленочных составов. Проведены исследования составов на жизнеспособность с помощью динамического механического анализатора. Оптимизированы технологические режимы процесса отверждения пленочных составов.

Список литературы

1. *Нелюб В.А.* Применение прямых методов формования при производстве крупногабаритных деталей из стеклопластиков / В.А. Нелюб, Д.В. Гращенков, Д.И. Коган, И.А. Соколов // Химическая технология. – 2012. – Т. 13, № 12. – С. 735 – 739.

2. *Тимошков П.Н.* Пропитка пленочным связующим (RFI) как перспективная безавтоклавная технология получения изделий из ПКМ / П.Н. Тимошков, А.А. Платонов, А.В. Хрульков // Труды ВИАМ. – 2015. – № 5. – С. 9

3. *Панина Н.Н.* Связующие для безавтоклавного формования изделий из полимерных композиционных материалов / Н.Н. Панина, М.А. Ким, Я.М. Гуревич, М.М. Гигорьев, Л.В. Чурсова, А.Н. Бабин // Клеи. Герметики. Технологии. – 2013. – № 10. – С. 27 – 35.

THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF FILM RESIN MANUFACTURING

Petrunina E., Khafizov V.
Supervisor: A. Magsumova, Ph. D., Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan)

This paper demonstrates a possibility of film resins manufacturing based on high viscosity epoxy compounds, cured by amine hardener. The results of studies of processing and physical-mechanical properties of the compositions under study provide a possibility to optimize the proportion of components in the film.

УДК 678.046

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В АВИАСТРОЕНИИ

Черноглазов П.А.
Научный руководитель: А.В. Черноглазова,
канд. техн. наук, доцент
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, г. Казань)*

Показаны объемы и перспективы применения полимерных композиционных материалов в России, причины низкой степени производства неметаллических композитов.

Объем мирового рынка композиционных материалов составляет около 12 млн тонн ежегодно и не менее 700 млрд евро в денежном эквиваленте. В это же время, объемы производимых в России композиционных материалов исчисляются только лишь десятками тысяч тонн и составляют всего 0,3-0,5 % от общего объема мирового рынка. Потребление композитов в секторе гражданского использования в денежном эквиваленте едва достигает 12 млрд рублей в год. «В советское время мы были лидерами в этой отрасли, сейчас занимаем одно из последних мест», – отметил министр промышленности и торговли РФ, Денис Мантуров [1].

Генеральный директор "РТ-Химкомпозит" Сергей Сокол, обозначил целый ряд причин, которые, как он считает, обусловили низкую степень производства неметаллических композитов в России:

– зависимость от ввозимого в страну высококачественного сырья и высокотехнологичного оборудования;

– отсутствие единых государственных норм, стандартов и правил проектирования конструкций;

– отсутствие квалифицированных кадров по их проектированию, изготовлению и обслуживанию.

Все это создает необходимость комплексной полноценной пе-

реработки научной и производственной структуры отраслей, для изготовления продукции которых необходимо использование композиционных материалов и конструкций.

Несмотря на общее отставание и невысокие показатели, эксперты придерживаются мнения, что российский рынок композитов имеет перспективы для роста и к 2020 году у него есть возможность увеличить объем более чем в 10 раз. Анализируя мировой опыт можно заметить, что наиболее перспективными и массовыми рынками композиционных материалов являются рынки строительства и эксплуатации транспортной инфраструктуры. Наиболее массовыми потребителями композитов в России можно назвать предприятия оборонно-промышленного комплекса, авиапромышленность, космос и судостроение [2].

Одним из главных факторов успешного расширения рынка композитов должна стать модернизация производственных мощностей и научного потенциала отрасли композиционных материалов.

В настоящее время авиационные компании постоянно сталкиваются с проблемами увеличения уровня конкуренции и повышением затрат на расход топлива. Очевидным путем решения данных проблем является снижение веса летательного аппарата за счет использования в его конструкции композитов. В данный момент процент содержания композиционных материалов в конструкциях современных летательных аппаратов составляет около 15 %, но в новейшем поколении самолетов процент использования композитов станет значительно большим, по сравнению с предшественниками [3].

Наиболее ярким примером применения композиционных материалов в конструкционных узлах летательных аппаратов на данный момент считается Боинг 787 DREAMLINER. Более половины деталей и элементов данного воздушного судна выполнены из композитов, благодаря чему он имеет более высокий коэффициент полезного действия и более низкий расход топлива по сравнению с предыдущими аналогами.

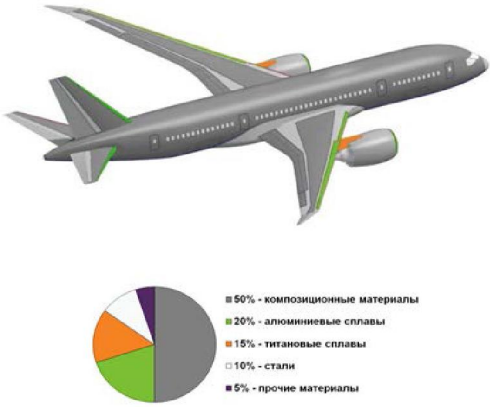


Рис. 1. Композиционные материалы в самолёте Боинг 787

В качестве подобного примера в российской авиации можно привести самолет ТУ-334, органы управления и механизации крыла которого сконструированы из композиционных материалов, а также самолет МС-21. Композитная конструкция крыла МС-21 позволяет заметно увеличить удлинение крыла по сравнению с металлическими конструкциями. В результате аэродинамическое качество – а это основной параметр, характеризующий совершенство самолета, – на больших скоростях полета у МС-21 выше, чем у лучших современных аналогов, на 5–6 %. Благодаря этому можно добиться существенной экономии топлива, увеличения крейсерской скорости и высоты полета. Таким образом, главная особенность данного самолета заключается в так называемом «черном» (композитном) крыле лайнера. Из композитов у МС-21 сделаны также отдельные элементы фюзеляжа, центроплан и оперение (рис. 2). Доля углеродных композитов в массе планера составляет почти 40 % [4].

В условиях растущей глобализации рынка крайне сложно представить машиностроительное предприятие, отвечающее современным требованиям, которое обходится без применения пакетов прикладного математического моделирования. Кроме того, для данного сектора промышленного производства актуальна проблема разработки новых материалов, где требования, которые инженеры предъявляют к конструкциям, крайне высоки.

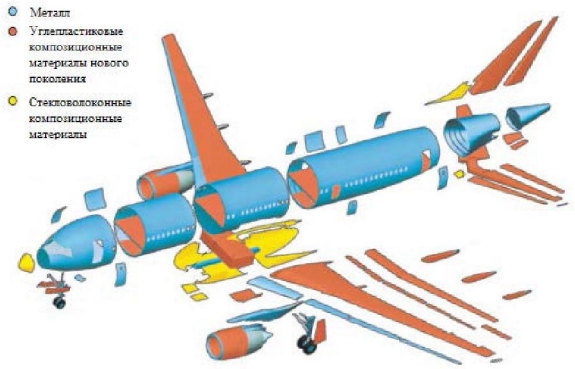


Рис. 2. Композиционные материалы в самолёте МС-21

Компьютерное моделирование с применением пакетов программ ESI Group позволяет инженерам упростить обработку данной проблемы, а также решить задачи повышения качества конструируемых элементов, сокращения сроков и затрат разработки, снижения трудоемкости проектирования, что является важным элементом в повышении конкурентоспособности для любых машиностроительных предприятий.

В летательных аппаратах нового поколения широко используются композитные материалы, к примеру при производстве крыла российского истребителя пятого поколения Т-50 "ПАК ФА" используется несколько сотен слоев специального углепластика, сверху и снизу покрывающих алюминиевые соты.

Абсолютно весь процесс производства используемого углепластика, начиная с создания углеродного волокна и завершая пропиткой связующим веществом, а также все этапы проектирования монослоя материала до получения готовой к использованию конструкции можно представить в виде модели в программных пакетах ESI.

При проектировании массивных габаритных деталей проведение физических экспериментов становится крайне трудоемким и дорогостоящим процессом. Моделирование этапов формовки в PAM-FORM и последующей пропитки полученного изделия связующим

веществом в PAM-RTM дает возможность инженерам технологам быстро и крайне точно оценить стратегию производства и выбор материала, а затем оптимизировать параметры процесса изготовления. Это сведет к минимуму риск производственных дефектов, которые приводят к серьезным повреждениям под воздействием нагрузок.

Список литературы

1. Журнал «LIVEJOURNAL» / Интервью Министра промышленности и торговли России Д. Мантурова http://bmpd.livejournal.com/877652.html

2. Композиты в авиационной промышленности/ http://cae-systems.ru/kompozity-v-aviacionnoy-promyshlennosti

3. Журнал Новый оборонный заказ. Стратегии / Применение композитных материалов как драйвер отраслей ОПК 2017, № 2 (44)

4. Пассажирский самолёт МС-21: летно-технические характеристики. Справка. РИА новости: Наука и Технологии, 14.07.2008.

PROSPECTS OF APPLICATION OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS IN AIRCRAFT INDUSTRY

Chernoglazov P.
Supervisor: A. Chernoglazova, Degree and Title
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The volumes and prospects for the use of polymer composite materials in Russia are shown, the reasons for the low degree of production of nonmetallic composites.

ПОДСЕКЦИЯ 2.3

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВИА- И МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.914.1/ 621.9.047

ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Валиев А.И.
(Казанское моторостроительное производственное объединение, г. Казань)

В двигателях нового поколения широко используются малоразмерные сложнопрофильные тонкостенные лопатки из жаропрочных сплавов. Их изготовление требует применение прогрессивных методов обработки. В данной работе представлены проблемы изготовления лопаток компрессора способом фрезерования и преимущества электрохимического формообразования.

Ужесточение требований, надежности, долговечности, экономичности и экологичности к авиационным газотурбинным двигателям влечет повышение требований по точности исполнения, к материалам деталей двигателя.

Компрессорные лопатки является наиболее ответственными и массовыми деталями авиационного двигателя. Их количество доходит до 1500 штук на один ГТД [3].

Поэтому изготовление лопаток требует применение современного высокопроизводительного оборудования и автоматизации процесса изготовления.

В отечественном моторостроительном производстве лопаток компрессора широко применяется технология фрезерования на многокоординатных станках с последующей доработкой на ленточно-шлифовальном оборудовании или полировальных бабках [4, 5]. В данной технологии есть ряд недостатков: быстрый износ и высокая стоимость режущего инструмента (фрез); использование ручных работ; низкая производительность и точность; требуется контроль всей партии изготовленных лопаток.

Одним из перспективных и возможных вариантов изготовления лопаток компрессора является электрохимическая обработка.

Электрохимическая обработка позволяет [6, 7]: эффективно обрабатывать труднообрабатываемые материалы и тонкостенные детали; снизить трудоемкость последующей финишной операции; исключить износ инструмента.

По двум выше перечисленным способам были изготовлены компрессорные лопатки и проведен их анализ.

Для анализа технологических процессов были выбраны: трудоемкость и затраты на подготовку производства, точность формирования кромок.

Следует отметить, что трудоемкость (граф. 1) и затраты (граф. 2) на подготовку производства для электрохимической обработки выше чем для фрезерной обработки (табл. 1).

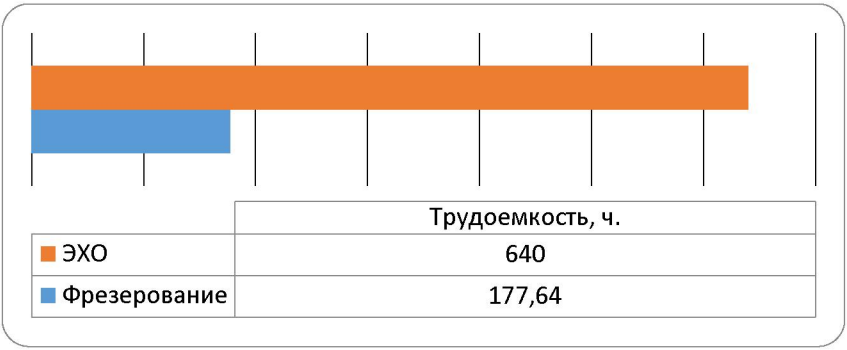
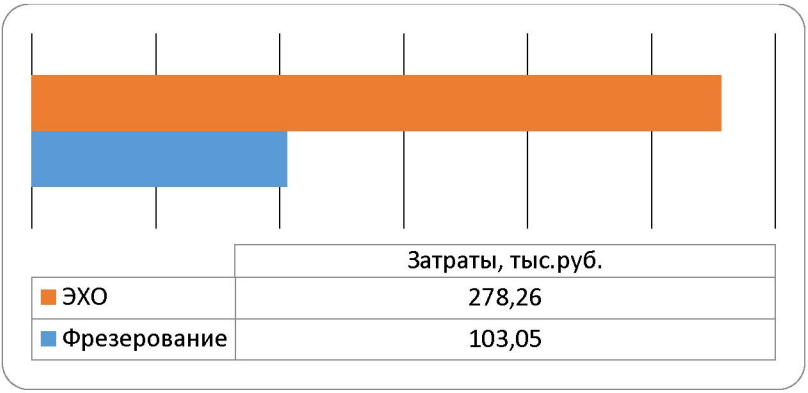


График 1. Трудоемкость подготовки производства

Низкие затраты на подготовку производства для фрезерной обработки позволяет ей оставаться более гибкой и быстро переналаживаемым производством в отличии от электрохимической обработки.

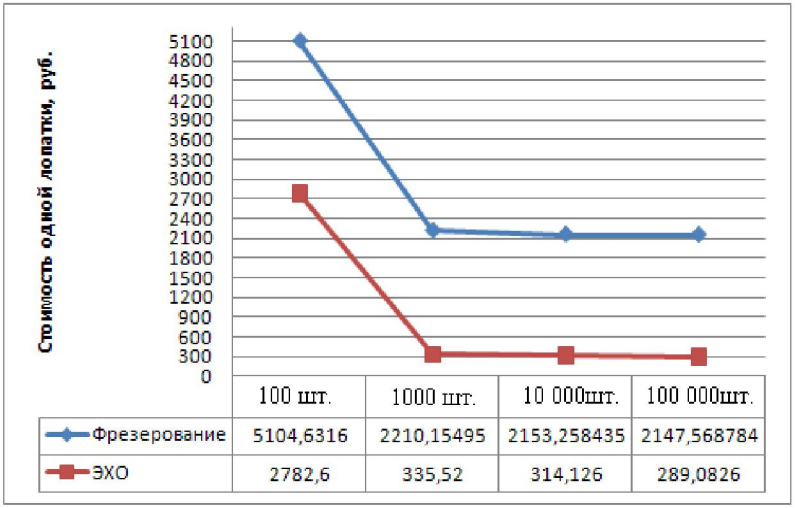
Применение более точной оснастки при электрохимической обработки повышает трудоемкость их изготовления.



	Затраты, тыс.руб.
ЭХО	278,26
Фрезерование	103,05

График 2. Затраты на подготовку производства

Для сравнительного анализа граф. 3 были приняты во внимание затраты подготовку производства (изготовления оснастки и режущего инструмента) с последующей переточкой фрез и ремонтом оснасти. Из графика 3 видно электрохимическая обработка является наиболее выгодным способом изготовления лопаток.



	100 шт.	1000 шт.	10 000шт.	100 000шт.
Фрезерование	5104,6316	2210,15495	2153,258435	2147,568784
ЭХО	2782,6	335,52	314,126	289,0826

График 3. Сравнительный график стоимости детали
в зависимости от количества выпущенных лопаток

Одним из основным показателей технологического процесса является с какой точностью и стабильностью изготавливаются детали. Поэтому в графике 4 сведены результаты измерений точности изготовления лопаток. Наибольшая точность и повторяемость геометрических размеров лопаток при электрохимической обработки.

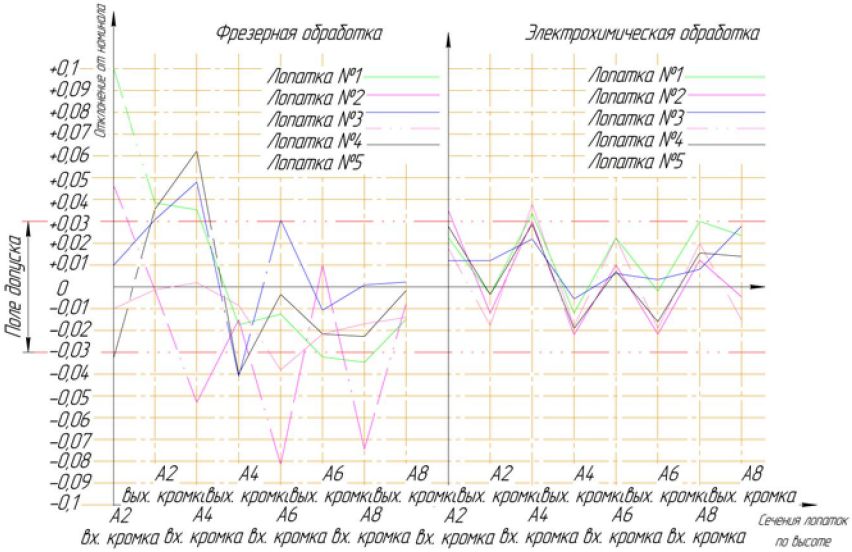


График 4. Точность формирования кромок

В совокупности, рассматривая выше изложенные данные полученные в результате реальных испытаний, можно сделать следующие выводы.

Использование сложной оснастки для электрохимической обработки повышает затраты и трудоемкость на подготовку производства, что существенно увеличивает сроки внедрения в производство изготовления лопаток.

Для обработки сложно обрабатываемых материалов требуется применения дорогостоящего режущего инструмента и частая их переточка существенно повышает окончательную стоимость детали. Практическое отсутствие износа электродов позволяет исполь-

зовать их длительное время, что снижает себестоимость детали.

Точность и повторяемость геометрических размеров при электрохимической обработки выше чем при фрезерной обработки с последующей доработкой на полировальных бабках. Электрохимическая обработка является наиболее стабильной и прогнозируемым методом обработки позволяющий исключить 100 % контроль изготовленных деталей.

Список литература

1. Технология производства авиационных газотурбинных двигателей [Текст]: Учебное пособие для вузов / Ю.С. Елисеев, А.Г. Бойцов, В.В. Крымов, Л.А. Хворостухин. Москва: Машиностроение, 2003. – 512 с.

2. *Лунев А.Н.* Оптимизация параметров фрезерования лопаток ГТД на станках с ЧПУ [Текст] / А.Н. Лунев, Л.Т. Моисеева, М.В. Соломина // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2007 – № 2 – С. 52–55.

3. *Туранов А.В.* К методике расчета режимов фрезерования поверхностей лопаток ГТД на станках с ЧПУ [Текст] / А.В. Туранов, Л.Т. Моисеева, А.Н. Лунев // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2005 – № 2 – С. 60–64.

4. *Нехорошеев М.В.* Автоматизация проектирования технологии электрохимической обработки пера лопаток ГТД на основе компьютерного моделирования процесса формообразования [Текст] / М.В. Нехорошеев., Н.Д. Проничев., Г.В. Смирнов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. Т. 15. № 4–6. С. 897–900.

5. *Нехорошеев М.В.* Использование объемного и плоского моделирования двухэлектродной электрохимической ячейки в программе ANSYS [Текст] / М.В. Нехорошеев., Н.Д. Проничев, Г.В. Смирнов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2012. № 3-3. С. 98–102.

FEATURES OF THE FORMATION

OF SMALL-SIZED COMPRESSOR BLADES OF AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINES

Valiev A.
(Kazan Motor Production Association, Kazan)

Annotation Small-sized composite thin-walled blades of high-temperature alloys are widely used in the engines of the new generation. The manufacture of such blades are requires the application of advanced processing methods. The problems of manufacturing compressor blades by the milling method and the advantages of electrochemical shaping are presented in this paper.

УДК 621.7

К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ИМПУЛЬСНОГО ПОЛЯ ВЫСОКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СПЛАВА Д16Т

Мавлетбаева Р.Р.
Научный руководитель: Г.С. Горшенин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Лениногорск)

В статье рассмотрено влияние магнитных полей на качество поверхностного слоя металла. Показаны две модели, объясняющие влияние импульсных магнитных полей на структуру металла и эксплуатационные характеристики деталей. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния импульсных магнитных полей на характеристики поверхностного слоя сплава Д16Т.

Прогресс машиностроительного производства предъявляет более высокие требования к эксплуатационным характеристикам изделий. Таким как надежность, износостойкость, прочность, долговечность. Одним из направлений улучшения эксплуатационных параметров изделий является магнитно-импульсная обработка (МИО), преимущество которой – бесконтактное воздействие невидимых магнитных полей на заготовку. Однако сам процесс влияния импульсных полей на изделия недостаточно изучен.

Изучением воздействия магнитного поля (МП) на эксплуатационные характеристики занимаются уже продолжительное время и физика образования магнитных полей известна, но в полной мере не раскрыта физика воздействия переменных магнитных полей на металлы и нет модели, которая позволила бы с достаточной достоверностью описать процессы, происходящие в металлах.

Из существующих теоретических моделей можно выделить две: одна рассматривает воздействие импульсных магнитных полей высокой напряженности как «силовое» на металлы (применяется в штамповочном производстве [4], [5]), а другая описывает повыше-

ние эксплуатационных характеристик изделий за счет структурных изменений в поверхностном слое металла [1], [2].

Первая теория основана на использовании сил между переменным магнитным полем индуктора (источник МП) и наведенным МП в заготовке. Сила, приводящая к деформации, зависит от величины напряженности магнитного поля, которая уменьшается от поверхности металла вглубь и воздействует на его объем [5]. Эта сила может создавать в поверхностном слое материала напряжения, превышающие предел текучести, что приводит к внутренним деформациям и повышению твердости [2], [3].

В работе Алифанова и других [3] установлено, что на поверхности металла остаточные напряжения отсутствуют, а появляются они на некоторой глубине, где напряжение в поверхностном слое, обращенном к источнику магнитного поля, достигает значения предела текучести металла.

Вторая теория воздействия импульсных магнитных полей рассматривается в процессах улучшения эксплуатационных характеристик деталей, в первую очередь стойкости режущего инструмента [1], [2], [3]. Магнитно-импульсная обработка инструментальных материалов, как показали экспериментальные исследования, увеличивает стойкость режущего инструмента за счет структурно-фазового превращения в поверхностном слое металла [1].

Исследованию влияния импульсных магнитных полей на алюминий и его сплавы посвящено не так много работ.

Для определения влияния импульсных магнитных полей высокой напряженности на характеристики поверхностного слоя деталей из легких сплавов были проведены экспериментальные исследования.

Эксперимент проводился на установке, схема которой представлена на рисунке 1.

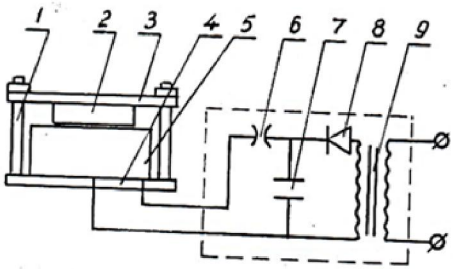


Рис. 1. Схема установки для магнитно-импульсной обработки:
1 – стойки, 2 – испытуемый образец, 3, 4 – плиты,
5 – индуктор, 6 – разрядное устройство, 7 – накопитель энергии,
8 – выпрямитель, 9 – трансформатор

Она состояла из двухсекционной магнитно-импульсной установки МИУ-40 с запасаемой энергией 40 кДж и технологического блока, главным элементом которого является индуктор (медная шина, свернутая в спираль и заключенная в стальную обойму).

Обрабатываемый образец (2) помещался между индуктором (5) и плитой (3). В качестве образцов использовались точеные диски с полированными поверхностями из материала Д16Т. В экспериментах определялась микротвердость образца не менее чем в 15 точках с помощью прибора ПМТ-3 до обработки импульсным магнитным полем и после.

Экспериментальные исследования показали, что при обработке импульсным магнитным полем (напряжение зарядки U = 3кВ) микротвердость увеличилась. Степень увеличения микротвердости определялась по формуле:

$$\overline{H} = \frac{H_i - H_o}{H_o} \times 100,$$

где H_o, H_i – микротвердость соответственно до и после обработки импульсным магнитным полем. Было установлено, что с увеличением числа разрядов микротвердость возрастает, но снижается интенсивности роста H (рисунок 2).

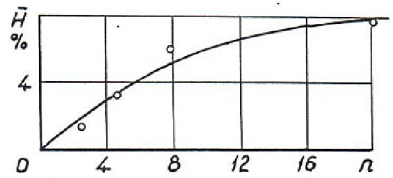


Рис. 2. График интенсивности роста
степень увеличения микротвердости

Результаты исследований остаточных напряжений (σ), проведенных на электронно-измерительной системе М-217 с автоматической записью кривых деформаций и расчетом остаточных напряжений представлены на рисунке 3.

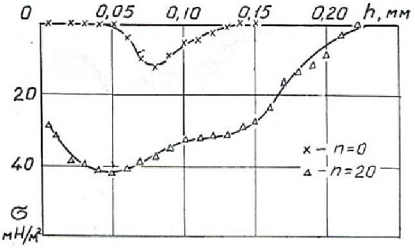


Рис. 3. Влияние МИО на остаточные напряжения (сжатия)
в поверхностном слое материала Д16Т
(x – материал до обработки; Δ – после обработки).

На поверхности образцов из Д16Т не подвергавшихся МИО остаточные напряжения близки к нулю, а у прошедших обработку с числом разрядов МИУ n = 20 в поверхностном слое отмечены напряжения сжатия (σ), которые по глубине h сначала возрастают, достигая максимум при $h = 5$ мкм, а затем уменьшаются. Рост σ можно объяснить пространственным распределением давления в металле при магнитно-импульсной обработке, которое растет в поверхностном слое до определенной глубины [4]. Уменьшение по h обусловлено снижением напряженности магнитного поля по глубине поверхностного слоя [2].

Список литературы

1. *Алифанов А.В.* Магнитно-импульсная упрочняющая обработка изделий из конструкционных и инструментальных сталей / А.В. Алифанов, А.В. Акулов, Ж.А. Попова, А.С. Демянчик // Литье и металлургия. 2012. – № 3. – С. 77–82.

2. *Алифанов А.В.* Механизм упрочнения легированных сталей в импульсном магнитном поле / А.В. Алифанов, Ж.А. Попова // Литье и металлургия. – 2012. – № 4. – С. 151–155.

3. *Алифанов А.В.* Повышение износостойкости дереворежущих ножей упрочняющей магнитно-импульсной обработкой / А.В. Алифанов, Ж.А. Попова, А.С. Демянчик // Вестник Брест. ГТУ, – 2012 – № 4. – С. 9–12.

4. *Брон О.Б.* Распределение давлений и просачивание магнитного поля через деталь при магнитно-импульсной обработке / О.Б. Брон, В.П. Епечурин // Известия высших учебных заведений (электромеханика). – 1968. – № 11. – С. 1151–1159.

5. *Глущенков В.А.* Специальные виды штамповки. В 2 ч., Ч. 2. Динамические методы формирования: учебное пособие / В.А. Глущенков. Самара: Изд-во СГАУ, 2012. – 108 с.

A STUDY ON THE EFFECT OF MAGNETIC IMPULSE FIELD OF HIGH INTENSITY ON THE CHARACTERISTICS OF THE SURFACE LAYER OF D16T ALLOY

Mavletbaeva R.
Research Supervisor: G. Gorshenin,
Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Leninogorsk)

In this paper, the effect of magnetic poles on the quality of the surface layer of a metal is being studied. Two models are shown that explain the influence of magnetic impulse fields on the structure of the metal and the operational characteristics of the parts. The presented results of experimental studies of the effect of magnetic impulse fields on the characteristics of the surface layer of the D16T alloy.

УДК 629.73

ПРОЦЕСС СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ КЛИНЧЕВАНИЯ СО ВСТАВКОЙ

Сосова Н.А.
Научный руководитель: В.А. Костин, докт. техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассмотрены новые способы соединения деталей методом клинчевания со вставкой, за счет которой повышается прочность соединения.

Клинчевание это процесс соединения элементов конструкций из листового металла основанный на холодном местном деформировании материала с образованием взаимозацепляемого замка «зацепа». В КНИТУ-КАИ исследована классическая схема формирования клинч-соединения, изготовлено универсальное оборудование для изготовления тест-образцов клинч-соединений и произведены их испытания на прочность [1, 2].

По результатам анализа результатов проведенных прочностных испытаний для повышения прочностных характеристик клинч-соединений были предложены следующие технические решения:

– Увеличить величину зацепа без утонения стенок соединяемых листов в лунке клинч-соединения за счет использования разъемной матрицы [3, 4].

– Использовать вставку в лунке клинч-соединения, которая будет препятствовать смятию сформированной части верхнего листа клинч-соединения. Реализовать данный способ предложено двумя методами.

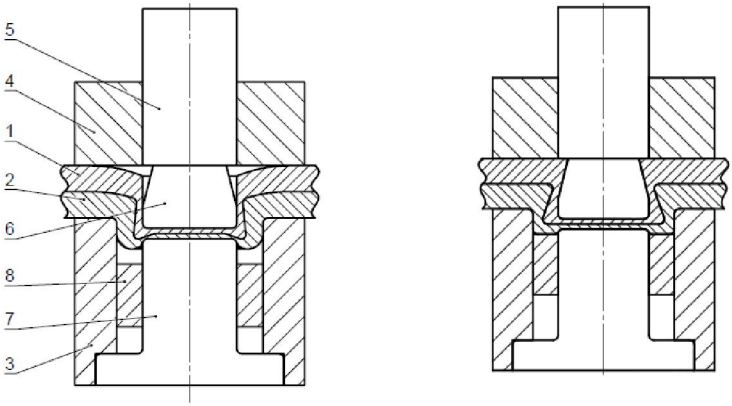
Первый метод – с использованием трубчатого пуансона.

Формирование клинч-соединения проводится в две стадии.

На первой стадии процесса формирования клинч-соединения (рис. 1, а) в листы металла 1 и 2, помещенные на верхнюю поверхность корпуса матрицы 3 и поджатые к ней с помощью прижима 4, стержневым пуансоном 5 вдавливают вставку 6 в форме усеченно-

го конуса, обращенного большим своим основанием к листам 1 и 2, изготовленную из материала более прочного, чем материал листов, формируя лунку с выдавливанием части материала в кольцевой зазор между боковой поверхностью наковальни 7 и корпусом матрицы 3 с образованием в стенке лунки зацепа, а в зоне, непосредственно прилегающей к боковой поверхности вставки 6, – кольцевой полости. Трубчатый пуансон 8 при этом отведен вниз, не препятствуя течению металла.

Во второй стадии клинчевания (рис. 1, б) трубчатый пуансон 8 известным способом поднимают вверх, перемещая выдавленный в зазор материал листов 1 и 2 в направлении полости, образованной конической поверхностью вставки 6 и общей плоскостью торца стержневого пуансона 5 и прижима 4, обеспечивая геометрическое замыкание вставки 6, исключающее ее самопроизвольное выпадение из лунки при циклическом нагружении соединения.

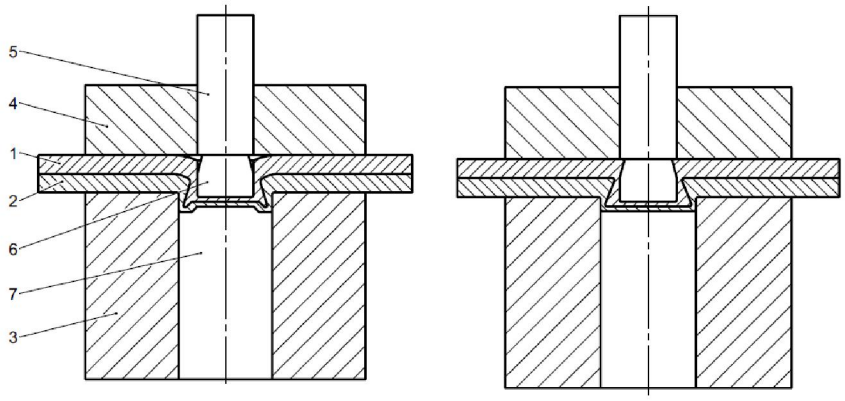


а б

Рис. 1. Продольный разрез компонентов штампа
после завершения стадии клинчевания:
а – первая стадия клинчевания, б – вторая стадия клинчевания.
1 – лист верхний; 2 – лист нижний; 3 – корпус матрицы;
4 – прижим; 5 – стержневой пуансон; 6 – вставка;
7 – наковальня; 8 – трубчатый пуансон.

Второй метод – с использованием с использованием сменной наковальни.

В представленном варианте способа клинчевания со вставкой во второй стадии вместо трубчатого пуансона использована сменная подъемная наковальня (рис. 2).



а б

Рис. 2. Продольный разрез компонентов штампа
после завершения стадии клинчевания:
а – первая стадия клинчевания, б – вторая стадия клинчевания.
1 – лист верхний; 2 – лист нижний; 3 – корпус матрицы;
4 – прижим; 5 – стержневой пуансон; 6 – вставка; 7 – наковальня

Для предложенных методов реализации способа клинчевания со вставкой в программном комплексе DEFORM 2D разработаны методики моделирования процессов формирования клинч-соединений [5].

Список литературы:

1. *Закиров И.М.* Испытания клинч-соединения на прочность / И.М. Закиров, А.В. Сосов, А.В. Никитин, С.А. Луканкин // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2012. – № 4-2, с. 58–60.

2. *Закиров И.М.* Влияние геометрических размеров оснастки и настроечных параметров на характеристики клинч-соединения / И.М. Закиров, А.В. Сосов, А.В. Никитин // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2013. – № 4, с. 51–54.

3. Патент на полезную модель РФ № 155276 опубликовано: 27.09.2015 г. Устройство для соединения металла из листового металла Закиров И.М., Сосов А.В., Никитин А.В., Сосова Н.А.

4. Патент на изобретение РФ № 2590424 опубликовано: 10.07.2016 г. Инструмент для соединения деталей из листового металла клинчеванием Закиров И.М., Сосов А.В., Никитин А.В., Сосова Н.А.

5. *Сосов А.В.* Моделирование двухпереходного процесса клинчевания в программном комплексе DEFORM-2D/ А.В. Сосов, А.В. Никитин, Н.А. Сосова // В Сборнике: Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием - АКТО – Казань, 10-11 августа 2016 г.

THE PROCESS OF CONNECTING METAL PARTS USING CLINCHING TECHNOLOGY WITH INSERT PIECE

Sosova N.
Supervisor: V. Kostin, doctor, professor
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan)

Clinching is the process of connection of structural elements made of sheet metal based on cold local deformation of the material with the formation of the "hook" lock. Here we considered the method of increasing the strength of the connection metal parts using clinching technology with inserting a piece to the joint, and also the methods of the realization of this process.

УДК 629.735.45

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ

Раздрогов Е.А.[1]
Научный руководитель: Д.В. Неделько[1], докт. техн. наук,
С.В. Осянин[2], канд. техн. наук
([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
[2]Казанский вертолетный завод, г. Казань)

В данной работе представлена методика по определению оптимальных режимов резания для концевой фрезы. Результат назначения оптимальных параметров обработки позволит эффективно использовать режущий инструмент при фрезеровании.

Обработка концевыми фрезами имеет широкое применение как на предварительных, так и на окончательных операциях. Из-за повышения требований качества деталей машин, ужесточились требования к обеспечению определенного уровня параметров шероховатости.

При проектировании операций, режимные параметры устанавливают с помощью нормативных или опытных данных, что приводит к неоднозначности технологических решений, так как они часто противоречивы и не учитывают качество получаемой поверхности. Приводимые в разных источниках [2] расчетные формулы или числовые значения, дают существенное расхождение по рекомендуемым режимам резания.

Цель настоящей работы заключается в получении оптимальных режимов резания с учетом множества влияющих факторов на процесс резания. Решение данной задачи основано на построении математической модели процесса резания на основе расчетных и экспериментальных данных полученных в ходе лабораторных исследований с использованием компьютерной техники [1].

Особенно актуально данное направление на ПАО «Казанский вертолетный завод» в связи с возможностью собственного изготов-

ления твердосплавных концевых фрез на имеющемся оборудовании для последующего эффективного внедрения в основное производство.

Список литературы

1. *Васин С.А.* «Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании» // Серия «Библиотека инструментальщика». Машиностроение, 2006. –348 с.: ил.

2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. С74 Т. 1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1986. 656 с., ил.

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE MANUFACTURE OF AVIATION STRUCTURES

***Razdrogov E.*[1]**

Supervisor: D. Nedel'ko[1], Dr. Techn. Sc.,
S. Osyanin[2], Cand. Techn. Sc.

([1]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev,
[2]Kazan helicopter plant, Kazan)

In this paper, a technique is presented to determine the optimum cutting regimes for the end mill. The result of the assignment of optimal processing parameters will allow to effectively use cutting tool for milling.

ПОДСЕКЦИЯ 2.4

ЛАЗЕРНЫЕ, ПЛАЗМЕННЫЕ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 537.525

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ИЗ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Амирзянов И.И.
Научный руководитель: Б.А. Тимеркаев,
докт. физ.-мат. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

В работе предложен способ разложения тяжёлых углеводородов электродуговым разрядом между утопленными в сырьё электродами с целью получения углеродных наноматериалов. Электронно-микроскопический анализ сажи показал, что в отложениях содержится большое количество углеродных нанотрубок (волокон) различной длины и структуры. Углеродистые нанотрубки представлены в виде тесно сплетённых между собой нитей разной длины диаметром порядка 11 нм.

В работе предложен способ разложения тяжёлых углеводородов электродуговым разрядом между утопленными в сырьё электродами с целью получения углеродных наноматериалов. Идея работы заключается в том, что вблизи электрической дуги образуется парогазовая полость, состоящая из выпарившихся сырья углеводородов, и электрическая дуга при таком подходе будет гореть в парах тяжёлых углеводородов [1–5]. Высокая температура обеспечивает испарение мазута с поверхности вовнутрь полости. При этом температура самого мазута может остаться достаточно холодной. Таким образом, создается уникальная среда для эффективного взаимодействия дуговой плазмы с парами тяжёлых углеводородов [6–11].

Экспериментальная установка состоит из вакуумной камеры и систем электрического питания, подачи газа, охлаждения, вакуумного насоса и измерительных приборов. Система электрического питания представляет собой электросварочный аппарат с максимальным выпрямленным током 300 А.

Электрическая дуга обеспечивается путем касания электро-

дов, точно так же как в электрической сварке. Зажигание дуги при установленных электродах и межэлектродного расстояния может осуществляться путем подачи на электроды высокого напряжения порядка 25 кВ. Для исключения пробоя выпрямляющих диодов в цепь постоянного тока включен индуктивный фильтр.

Ток электрической дуги измеряется амперметром типа М206, а напряжение – вольтметром типа М2015.

Процесс разложения жидкого углеводородного сырья происходит непосредственно в электрической дуге, организованной между двумя электродами, утопленными в сырье. Сырьё наливается в керамическую ёмкость.

В электрической дуге происходит разбиение молекул углеводородов, в результате которого появляются водород, углерод и легкие фракции углеводородов. Высокая температура дуги поддерживает внутри жидкости плазменную область, края которой соприкасаются непосредственно с жидким углеводородным сырьём. Молекулы тяжёлых углеводородов испаряются в плазменную область и под действием быстрых электронов разбиваются на легкие фракции.

В электрической дуге, утопленной в жидкое углеводородное сырьё, устанавливается давление, которое немного больше атмосферного. Поэтому образовавшиеся легкие газы за счет силы Архимеда будут подниматься наверх, уступая место новой порции углеводородных молекул, так как часть мазута, которая непосредственно контактирует с дугой, будет находиться в состоянии кипения, и будет поставлять в область разряда разнообразные нефтяные фракции. Эти фракции, оказавшись в области электрического разряда, так же будут разбиваться электронами и ионами плазмы дугового разряда.

Атомарный углерод, образовавшийся в разряде, частично будет откладываться на электродах, образовывая углеродистые наросты. В ходе проведения экспериментов надо постоянно следить за межэлектродным расстоянием, обеспечивая постоянные условия горения разряда. В таком случае эти наросты, которые обладают очень хорошей электропроводностью, могут достигать значительных размеров.

В качестве электродов был применен графит диаметром от 5 мм.

Скорость образования нароста зависит от силы тока. Чем выше сила тока, тем больше скорость образования углеродистых отложений. Однако при больших значениях силы тока увеличивается интенсивность кипения жидкого сырья. В ходе экспериментов сила тока поддерживалась порядка 100 А.

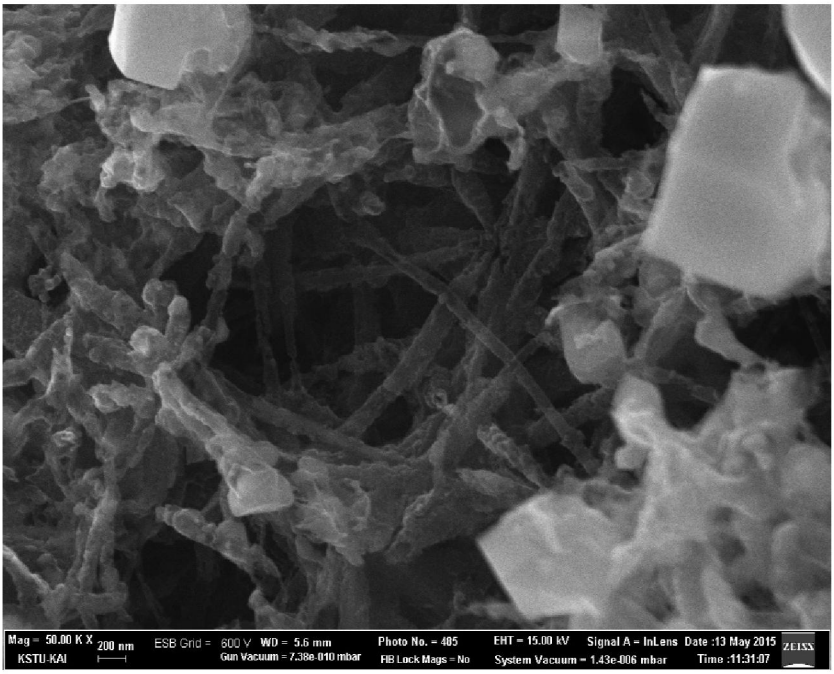


Рис. Электронно-микроскопический снимок углеродистых отложений на электродах

Углеродистые наросты, отложенные на катоде, были проанализированы электронно-сканирующим микроскопом на наличие в них углеродных наноматериалов типа фуллеренов и углеродных нанотрубок. Полученный образец предварительно промывали в бензине, просушивали.

На рисунке представлен электронно-микроскопический снимок углеродистых наростов, отложенных на катоде. Из рисунка видно, что в отложениях содержится большое количество углеродных нанотрубок различного диаметра и длины. Средняя длина нанотрубок около 2 мкм, а диаметр порядка 10 – 40 нм. Достаточно большая толщина нанотрубок позволяет утверждать, что полученные нанотрубки, вероятнее всего, многослойные.

Список литературы

1. *Мухамадияров Х. Г., Нефедьев Е. С., Тимеркаев Б. А.* и др. Плазмохимический реактор для глубокой переработки нефти. Вестн. КГТУ им. А. Н. Туполева. 2006 г., № 4, С. 35–38.

2. *Кашапов Н.Ф., Нефедьев Е.С., Тимеркаев Б.А., Фахрутдинов И.М.* Разложение тяжёлых углеводородов электродуговой плазмой. / 36-я Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС. 2009. – 1 с.

3. *Мухамадияров Х.Г., Нефедьев Е.С., Тимеркаев Б.А., Фахрутдинов И.М., Ягудин Ш.Г.* Плазмохимический реактор для глубокой переработки нефти. Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2006, № 4. – С. 35–38.

4. *Ганиева Г.Р., Галеев И.Г., Гисматуллин Н.К., Зиганшин Д.И., Тахаутдинов Р.Ш., Тимеркаев Б.А.* Разложение тяжёлых углеводородов в свободной электрической дуге // Изв. Самарского науч. центра РАН., Самара, 2011. Т. 13, № 4. С. 1156–1159

5. *Ганиева Г. Р., Галеев И. Г., Гисматуллин Н. К., Зиганшин Д.И., Тимеркаев Б.А.* Разложение тяжёлых углеводородов в утопленной дуге // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. 2012. вып. 1 № 4. С.184–188.

6. *Ganieva G.R., Timerkaev B.A.* Decomposition of heavy hydrocarbons in argon arc with the sunken electrodes // Journal of Physics: Conference Series 669 (2016) 012061

7. *Ганиева Г.Р., Тимеркаев Б.А., Зиганшин Д.И., Аухадеев М.М.* Электрические микроразряды в жидкостях и перспективы их применения в плазмохимии / Инженерно-физический журнал. Т. 87. № 3. Май-июнь. С. 677–681. 2014.

8. Electrical microdischarges in liquids and prospects of their

application in plasma chemistry Timerkaev B.A., Ganieva G.R., Ziganchin D.I., Auhadeev M.M. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2014. Т. 87. С. 677.

9. *Galeev I.G., Timerkaev B.A.* Glow-discharge positive-column model for a flowing gas mixture. High Temperature. 1988. Т. 25. № 5. С. 613–619.

10. *Ganieva G.R., Timerkaev B.A.* Plasmachemical processing of raw liquid hydrocarbons by sunk microarc- discharge // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 012009 (2015) vol 86.

11. *Timerkaev B.A., Zalyaliev B.R., Saifutdinov A.I.* Glow discharge characteristics in transverse supersonic air flow. Journal of Physics: Conference Series. 2014. Т. 567. № 1. С. 012032.

12. *Тимеркаев Б.А., Ахметов М.М., Залялиев Б.Р., Петрова О.А., Исрафилов Д.И.* Самоорганизация нормального тлеющего разряда. Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2014. № 3. С. 158–163.

УДК 537.5

ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ КОЛЬЦА СТАТОРА

Ахунов Д.Ф., Шакиров А.Ш., Шакирзянов И.Р.
Научный руководитель: Ф.М. Гайсин
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)*

В рамках данного исследования представлены результаты воздействия низкотемпературной плазмы электрического разряда на поверхность кольца статора. Исследованы колебания тока и напряжения во время обработки изделия. Исследовано распределение температуры парогазовой среды вблизи обрабатываемого изделия.

На сегодняшний день накоплено большое количество фундаментальных и прикладных знаний по исследованиям электрических разрядов получаемых между металлическими электродами. Наряду с этим большой интерес представляю разряды, получаемые в межэлектродном промежутке, где один или два электрода являются жидкостью [1–3]. Интерес представляют данный по составу плазмы, электрические параметры, распределение компонентов плазмы по концентрации и энергиям. Наряду с этим данный тип разряда эффективно применяется в различных производствах для очистки, полировки поверхности материалов и изделий. Так же данный тип разряда актуален при озонировании помещений.

Экспериментальная установка для исследования электрического разряда в процесс обработки кольца статора представлено на рисунке 1, где: 1 – пластина для подвода отрицательного потенциала; 2 – электролит; 3 – кольцо статора; 4 – ванна для электролита. В качестве анода использовалось кольцо статора из стали, в качестве катода раствор NaCl 5 % в технической воде.

Для решения поставленных задач применялись следующие методы исследования:

1. Для визуального описания газового разряда применялась фото-видеосъемка с помощью смартфона «NokiaX».

2. Для исследования микрорельефа поверхности изделия до и после обработки применялся микроскоп ОГМЭ – П2 с функцией наблюдения прямого и объемного изображения рассматриваемых предметов в отраженном свете.

3. Для исследования электрофизических параметров газового разряда при обработке изделия применялись амперметр и вольтметр различного класса точности.

4. Для исследования температуры в пароплазменной оболочке применялся инфракрасный пирометр «TemPro 300».

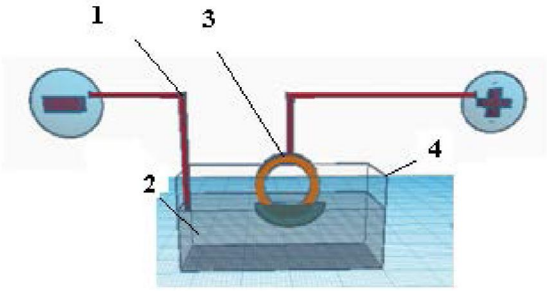


Рис. 1. Экспериментальная установка

С подачей потенциала на электроды вокруг кольца образуется парогазовая оболочка и в случае если вкладываемая мощность достаточно для запуска процесса ионизации, в ней происходит пробой и зажигается электрический разряд. Разряд пульсирует и дрейфует по поверхности кольца. Время воздействия электрического разряда на поверхность кольца 8 сек. Давление внешней среды 10^5 Па.

Исходя из анализа колебаний тока и напряжения разряда (Рис. 2-3) следует, что напряжение находиться в диапазоне $U \approx$ 200 – 400 В, в то время как ток разряда $I \approx$ 2 – 10 А.

Исходя из анализа распределения температуры вдоль парогазовой оболочки установлено, что температура достигает $T_p \approx 74℃$.

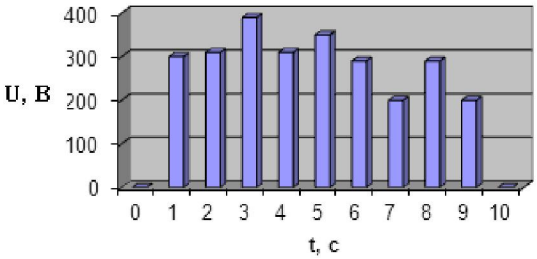


Рис. 2. Колебания напряжения

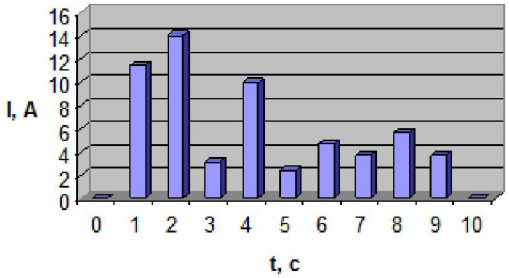


Рис. 3. Колебания тока

После обработки поверхность кольца очищается от коррозии и заусенцев.

Список литературы

1. *Фортов В.Е., Сон Э.Е., Бромберг Л., Гайсин Ф.М., Сон К.Э., О Джон Хе, И ХеИонг.* Плазменные технологии (на корейском языке) МФТИ, KOFST, 2006. – 135 с.

2. *Гайсин Ал.Ф., Саримов Л.Р.* Некоторые особенности электрического разряда между электролитическим анодом и металлическим катодом // Физика плазмы. 2011. Т. 37. № 6. С. 574.

3. *Гайсин Ал.Ф.* Исследование воздействия низкотемпературной плазмы парогазовых разрядов с электролитическими электродами при пониженном давлении на изделие сложной геометрической формы // Физика и химия обработки материалов. 2016. № 3. С. 22–26.

ELECTROLYTIC AND PLASMA SURFACING OF THE RING OF THE CASING

Akhunov D., Shakirov A., Shakirzyanov I.
Supervisor: F. Gaisin, PhD, Professor
(Kazan National Research Technical
University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan)

Within this research results of impact of the low-temperature plasma of electric discharge on a casing ring surface are presented. Fluctuations of current and tension are investigated during processing of a product. Distribution of temperature of the steam-gaseous environment near a job is investigated.

УДК 535.33/.34

ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППЫ ЖЕЛЕЗА В СТЕКЛЕ

Бакиев И.И.
Научный руководитель: Д.Г. Галимов, канд. физ.-мат. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

В данной работе представлено изучение оптических спектров силикатных стекол, содержащих концентрационные ионы кобальта и меди. Из полученных результатов делается вывод о возможности их использования в энергосберегающих технологиях.

Структуру стеклообразного вещества нельзя построить путем периодического повторения одной элементарной ячейки, которую формируют молекулы данного вещества при переходе из фазы жидкого расплава в твердую фазу при охлаждении. Для структуры стекла можно говорить только о существовании ближнего порядка в расположении атомов вещества, то есть об идентичном расположении ближайших соседних атомов, окружающих центральный атом в элементарной ячейке. Поэтому иногда дается такое определение стекла: стекло – это такое состояние вещества, которое получается при затвердевании переохлажденной жидкости.

Существует кристаллитная теория строения стекла, в которой предполагается, что структура стекла образована субмикроскопическими кристаллами – кристаллитами [1]. Согласно ей, стекло является химически однородным. Наряду с ней существует теория непрерывной неупорядоченности стеклообразной сетки, в которой высказывается предположение об образовании оксидных стекол «элемент-кислородными» полиэдрами, аналогичными таковыми в кристаллах, но их сочленение не имеет строго порядка и периодичности, как в кристаллах [2].

Следует отметить, что обе теории не могут полностью объяснить все многообразие свойств реальных стекол. Поэтому для объяснения их специфических свойств часто используются опреде-

ленные модельные представления о строении стекла.

Уникальные свойства стекол позволяют использовать их при создании новых композиционных материалов, потребность в которых увеличивается по мере развития техники и современной технологии. Расширяется также применение изделий из стекла в различных областях техники и в строительстве.

В связи с развитием энергосберегающих технологий возрос интерес к поиску новых материалов, обладающих уникальными энергосберегающими свойствами.

Изученные в данной работе стекла варились в корундизовых тиглях в лабораторной печи при температуре 1400°С в течение 4-х часов и подвергались термоотжигу в температурном интервале (600–650)°С в течение 2-х часов. Из полученных стекол изготавливались оптические образцы для спектроскопических исследований. Условные обозначения образцов изученных стекол, их состав в молярных процентах и содержание примесей в весовых процентах приведены в таблице 1.

Таблица 1

Образец	SiO_2	Na_2O	CaO	CoO	CuO
С1	74	10	16	0,05	–
С2	74	10	16	0,09	0,4
С3	74	10	16	0,09	0,6
С4	74	10	16	0,15	0,7
С6	74	10	16	0,2	0,7

Измерение оптических спектров изучаемых в данной работе стекол производилось на спектрофотометре СФ–26. Нами было проведено исследование оптических спектров стекол С1–С6, окрашенных в синий цвет из-за содержания Co_2O_3. Стекла С2–С6 содержат как ионы кобальта, так и меди. На рисунке 1 представлен спектр пропускания стекла С2, условно названного «синим» с максимумом полосы пропускания в видимой части спектра при $\lambda_{max} = 430$нм. Спектры всех стекол приведенного ряда имеют аналогичный вид и характеристики: коэффициент пропускания мак-

симален при длине волны светового излучения $\lambda_{max} = 430$ нм (обуславливается присутствием в стекле ионов Co^{2+}). Слабый коэффициент пропускания при $\lambda_{max} = 580$ нм обуславливается присутствием в стекле ионов Cu^{2+}.

Стекла разных составов, сваренные с добавками окиси кобальта Co_2O_3 в различных окислительно–восстановительных условиях, традиционно использовались для изготовления светофильтров. Известно [3], что кобальт окрашивает стекла в синий, розовый и бледно-сиреневый цвета в зависимости от координационного окружения: красящие комплексы могут иметь тетраэдрическое $[CoO_4]$ или октаэдрическое $[CoO_6]$ окружение в зависимости от состава и условий варки стекол.

Коэффициент пропускания стекол С1–С6 в интервале длин волн (750–1000)нм пренебрежимо мал (не превышает 10 %). Это означает, что эти стекла имеют значительное поглощение излучения в ближнем инфракрасном диапазоне. На рисунке 1 для сравнения приведен оптический спектр стандартного теплопоглощающего стекла.

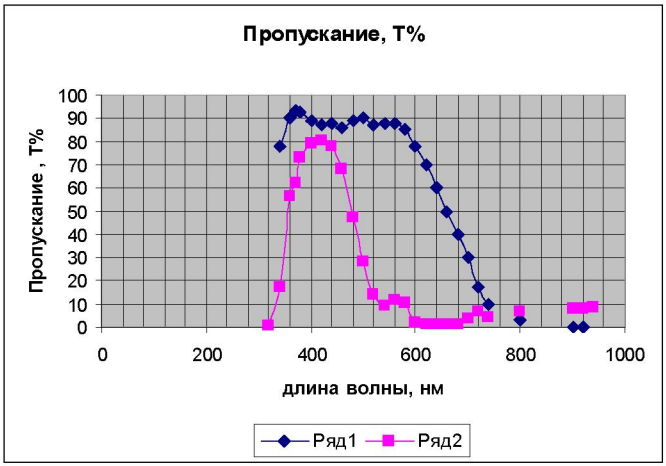


Рис. 1. Спектры стандартного теплопоглощающего стекла (ряд 1) и «синего» стекла С2 (ряд 2)

Список литературы

1. *Лебедев А.А.* Избранные труды, Л.: Наука, 1974, 286 с.

2. *Шульц М.М.* Стеклообразное состояние, Л.: Наука, 1989, 210 с.

3. *Weyl W.A.* Coloured Glasses, Sheffield, 1951, 300 p.

STUDY OF OPTICAL SPECTRA

Bakiev I.

Supervisor: D. Galimov, candidate of physico-mathematical sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

The study of the optical spectra of silicate glasses containing concentration ions of cobalt and cuprum. From results the conclusion about an opportunity of their use in energy-saving technologies is made.

УДК 537.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА НА ПОЛИМЕРЫ

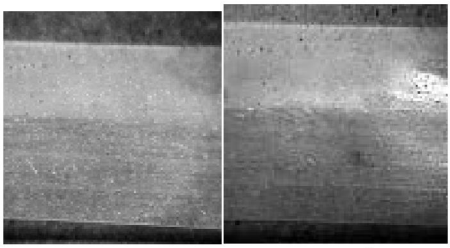
Белавин А.Ю. Зарипов И.М., Гарифуллин Б.И.
Научный руководитель: Р.Р. Каюмов
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, Казань)

В данной работе выявлены некоторые характеристики воздействия электрического разряда на полимерные материалы. Одной из задач на сегодняшний день является проблема смачивания и создание поверхности, для нанесения дополнительных покрытий, которая решается путем воздействия электрического разряда. Был исследован широкий диапазон параметров и установлен оптимальный режим для этого процесса.

На ряду с изучением разрядов между твердыми электродами большой интерес вызывают разряды с электролитическими электродами. Одним из методов получения неравновесной низкотемпературной плазмы при атмосферном давлении является использование электрического разряда, возникающего между струйным электролитическим катодом и электролитическим анодом, а также исследование взаимодействия полимеров с электрическим разрядом. Неравновесная низкотемпературная плазма электрического разряда с электролитическими электродами имеет множество различных эффектов, полезных с точки зрения технологических применений: очистка и полировка металлических изделий; получение мелкодисперсного порошка; очистка воды, дезинфекция и стерилизация изделий. Электрические разряды между струйным электролитическим катодом и электролитическим анодом являются полезными не только с точки зрения практических применений, но имеет большое значение для изучения физических явлений. Несмотря на все выше указанные физические процессы и характеристики электрического разряда между струйным электролитическим катодом и анодом при атмосферном давлении мало изучены [1].

экспериментальных данных разработано устройство для

упрочнения полимерных поверхностей, когда в качестве электролита используется насыщенный состав раствора NaCl в технической воде. Эксперименты по обработке проводились при атмосферном давлении. Экспериментальные исследования проводились между струйным катодом разного диаметра и разной длины струи, не представляло большой сложности перейти к исследованиям по обработке полимерных материалов различной конфигураций. Результаты измерения образцов полимерных материалов с различной предварительной обработкой поверхности показаны на рисунке 1. На поверхности полимерных материалов при воздействии электрического разряда со струйным электролитическим катодом, в основном происходит изменение поверхности [2].



а б

Рис. 1. Фотография поверхности полиэтиленового волокна:
а – до обработки; б – после обработки электрическим разрядом

Список литературы

1. *Галеев И.М., Каюмов Р.Р., Галимов И.А.* Исследования электрического разряда между твердым электродом и электролитом с одновременным синтезом озона, атомарного кислорода и гидроксил-радикала. В сборнике: Международная молодежная научная конференция "XXII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (школа молодых ученых)" Материалы конференции. Министерство образования и науки Российской Федерации Российский фонд фундаментальных исследований Казанский национальный исследовательский технический университет им. АН. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ). 2015. С. 427–429.

2. *Галеев И.М., Каюмов Р.Р., Ахатов М.Ф., Гайсин А.Ф.* Одновременное использование озона, атомарного кислорода и гидроксил-радикала для дезинфекции воздуха и поверхностей в помещении. // В сборнике: Инновационные технологии XXI века материалы Международной научно-практической конференции. Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. 2015. С. 229–231.

THE STUDY OF THE EFFECT OF ELECTRIC DISCHARGE ON POLYMERS

Belavin A., Zaripov I., Garifullin B.
Scientific adviser: R. Kayumov
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan)

In this paper, we consider some characteristics of the effect of an electric discharge on polymers. One of the problems is the problem of wetting and creating a surface, for applying additional coatings, which is solved by the action of an electric discharge. A wide range of parameters was investigated and the optimal regime for this process was established.

УДК 537.5

ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЯ ИЗ МЕДИ

Бельгибаев Э.Р., Галиев И.А., Шайдуллин А.И.
Научный руководитель: Аз.Ф. Гайсин
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Исследовано воздействие электролитно-плазменной обработки на поверхность изделия из меди и температура парогазовой оболочки.

Одной из актуальных проблем в промышленности является обработка поверхности материалов и изделий с целью улучшения их поверхностного слоя. Существуют различные методы обработки материалов и изделий, например механическая, химическая, электрохимическая, лазерная, плазменная обработки [1–3]. Одним из перспективных методов обработки является электролитно-плазменная обработка. Данный метод отличается тем, что в качестве одного из электродов используется электролиты различной концентрации.

В качестве обрабатываемого изделия применялся цилиндрический стержень из меди марки М1. В качестве электролита применялся 9 % раствор NaCl в технической воде. Медный стержень погружался в электролит на расстояние 10 мм, на стержень подавался положительный потенциал, а электролит являлся катодом.

Для решения поставленных задач применялись следующие методы исследования:

5. Для визуального описания газового разряда применялась фото-видеосъемка с помощью смартфона «ASUS Z00D».

6. Для исследования микрорельефа поверхности изделия до и после обработки применялся микроскоп ОГМЭ – П2 с функцией наблюдения прямого и объемного изображения рассматриваемых предметов в отраженном свете.

7. Для исследования температуры в пароплазменной оболочке применялся инфракрасный пирометр «TemPro 300».

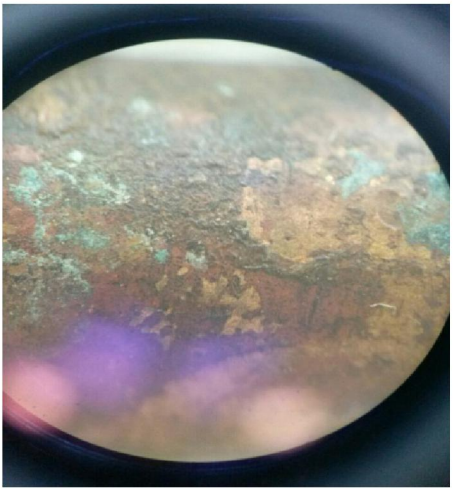


Рис. 1. Поверхность медного стержня до электролитно-плазменной обработки

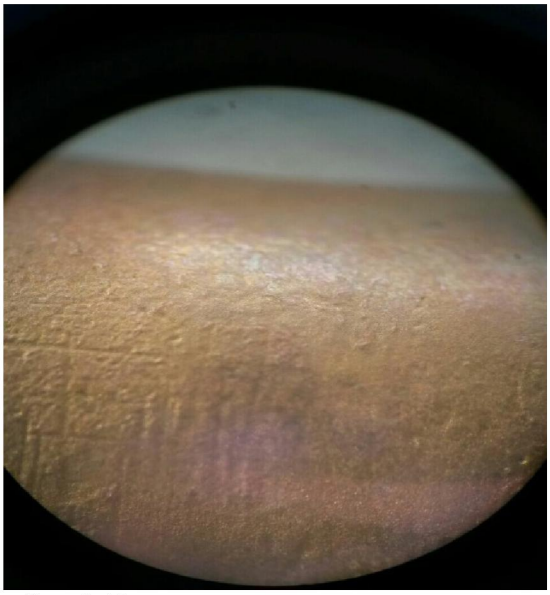


Рис. 2. Поверхность медного стержня после

электролитно-плазменной обработки

Исходя из анализа микрорельефа поверхности изделия до и после обработки (рис. 1 и рис. 2) следует, что поверхность до обработки покрыта окисной плёнкой, коррозией и различными органическими загрязнениями. Обработка поверхности осуществлялась в течение 12 секунд. В процессе обработки, вокруг медного стержня образуется парогазовая оболочка, в которой горят микроразряды в виде импульсов. После обработки поверхность значительно сглаживается, отсутствуют следы коррозии и загрязнений.

Температура парогазовой оболочки вблизи обрабатываемого изделия достигает $T_p \approx 62°C$.

Список литературы

4. *Фортов В.Е., Сон Э.Е., Бромберг Л., Гайсин Ф.М., Сон К.Э., О Джон Хе, И Хе Ионг.* Плазменные технологии (на корейском языке) МФТИ, KOFST, 2006. – 135 с.

5. *Гайсин Ал.Ф., Саримов Л.Р.* Некоторые особенности электрического разряда между электролитическим анодом и металлическим катодом // Физика плазмы. 2011. Т. 37. № 6. С. 574.

6. *Гайсин Ал.Ф.* Исследование воздействия низкотемпературной плазмы парогазовых разрядов с электролитическими электродами при пониженном давлении на изделие сложной геометрической формы // Физика и химия обработки материалов. 2016. № 3. С. 22–26.

ELECTROLYTIC AND PLASMA SURFACING OF THE PRODUCT FROM COPPER

Belgibaev E., Galiev I., Shaydullin A.
Supervisor: A. Gaisin, PhD, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan)

Impact of electrolytic and plasma processing on a product surface from copper and temperature of a steam-gaseous envelope is investigated.

УДК 537.5

ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ РЕЗКА

Бельгибаев Э.Р., Шайдуллин А.И.
Научный руководитель: М.Ф. Ахатов, доцент
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)*

Рассмотрен метод плазменно-дуговой резки металлических изделий. Выявлены достоинства и недостатки данной технологии.

Попытки замены механического труда на более эффективные и не требующие больших затрат методов обработки металла увенчались успехом. В наше время активно исследуются и применяются новые виды резки металлических изделий. Широко используются такие способы, как лазерная, ленточно-пильная, газокислородная, гидроабразивная и плазменная резка. В сфере промышленности активно набирает обороты резка металла при помощи технологии электродуговых плазматронов [1].

Принцип действия плазменно-дуговой резки основан на применении плазменной дуги с высокоинтенсивным вымыванием металла потоком плазмы. Плазменная дуга есть газ, пропущенный сквозь сжатый столб электрической дуги. По физическому свойству это сгусток тепловой энергии с высокой температурой, достигающая 30000°С. При такой температуре возможна резка любых металлов, используя одно и то же оборудование [2].

Плазмотрон, который направлен для реза с газовым контролем дуги, имеет стержневой вольфрамовый электрод, расположенный на одной оси в полости сопла. Ниже представленная схема иллюстрирует технологический процесс резки, предусматривающий точную последовательность действий: подача воды, которая охлаждает электрод и сопло; задание расчётной подачи газа; включение дежурной дуги от источника питания, значение силы тока, которое фиксируется резистором, зажигание факела плазмы. При соприкосновении обрабатываемого изделия дежурным факелом замыкается цепь силовой плазменной дуги, в результате чего запускается про-

цесс резки. В случае потери режущей дуги дежурная дуга восстанавливает процесс горения [3].

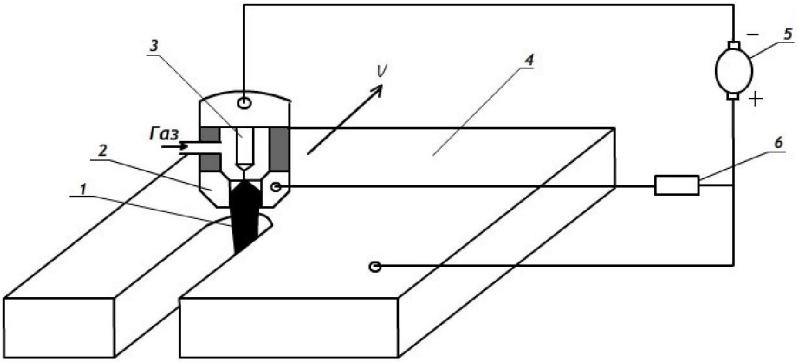


Рис. Схема резки металла плазменной дугой:
1. Поток плазмы. 2. Дуга. 3. Катод. 4. Разрезаемый материал.
5. Источник питания. 6. Резистор

Достоинствами плазменно-дуговой резки металла являются:

1) Удобство и простота в использовании.

2) Высокая скорость резки.

3) Автоматическая обработка металла с глубоким удалением шлака.

4) Тепловое воздействие на материалы минимально, благодаря чему металл не деформируется.

5) Резка изделий сложной формы.

Аналогично преимуществам, плазменно-дуговая резка имеет ряд недостатков, к ним относятся:

1) Небольшая допустимая толщина реза, которая в редких случаях может достигать до 100 мм

2) Сложность конструкции оборудования, вследствие чего на одном аппарате может использоваться не более одного резака [2].

Метод плазменной резки активно используется для резки

сплавов алюминия, легированных, а также низкоуглеродистых сталей.

Рассмотрев данный метод резки металла, можно сделать вывод, что он, в отличии от других видов резки, позволяет осуществлять различные действия над любыми типами металлов, независимо от их свойств, за короткий промежуток времени.

Список литературы

1. *Даутов Г.Ю., Тимеркаев Б.А.* Генераторы неравновесной газоразрядной плазмы. Казань. ФЭН. 1996.

2. Шава*лиев Х.М., Гайсин А.Ф., Андриянов А.И., Ахатов М.Ф.* Катодный узел плазмотрона //патент на изобретение RUS 2336591 08.02.2007

3. *Суворин А.В.* Электротехнические установки: учебное пособие. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011.

PLASMA-ARC CUTTING

Belgibaev E., Shaydullin A.
Supervisor: M. Ahatov, PhD, Associate professor
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan)

The method of plasma-arc cutting of metal products is considered. The advantages and disadvantages of this technology are revealed.

УДК 536.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ ПРИ АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Большаков П.В.
Научный руководитель: О.А. Саченков, канд. физ.-мат. наук
(Казанский федеральный университет, г. Казань)

В работе рассмотрено моделирование производства прямоугольного образца методами аддитивной технологии. В работе приведен алгоритм моделирования процесса нарастания, оценено изменение формы образца в ввиду температурных и фазовых процессов.

В настоящее время большую популярность набирают, применимость аддитивные технологии, называемые 3D-технологиями, особенно подчеркивается актуальность таких технологий в персонифицированной медицине [2–4]. Появляются новые модели: более компактные, экономичные, лучше адаптированные для промышленного и даже домашнего использования. Сам 3D-принтер – это периферийное устройство, использующее метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели. Однако у формы объекта есть погрешности (длина, ширина, толщина объекта). Эта погрешность связана со многими факторами: точность 3D-принтера, свойства материала, используемого при печати, технологические особенности [1, 5].

В данной работе рассматривается моделирование и оценка погрешности формы, при аддитивном процессе, одномерной, постепенно наращиваемой, колонны в пакете ANSYS APDL. При моделировании рассматривалась построение прямоугольника с соотношением сторон 1:3, шириной 54 мм. Свойства материала: плотность материала 7800 кг/м^3, модуль Юнга 200 Гпа, коэффициент Пуассона 0.3, коэффициент теплового расширения $12 \cdot 10^{-6}$ С$^{-1}$, удельная теплоемкость 462 Дж/кг·К.

В рамках моделирования процесса нарастания был реализован следующий алгоритм. На первом шаге строился слой из материала размером 3 мкм. и, для заданной области, рассматривалась

нестационарная теплопроводная задача конвективного теплообмена совместно с термоупругой задачей с учетом фазовых превращений. После на верхний слой деформированного состояния наращивался следующий слой материала и повторялось обозначенное выше решение. Эти итерации продолжались пока не будет наращена вся высота образца.

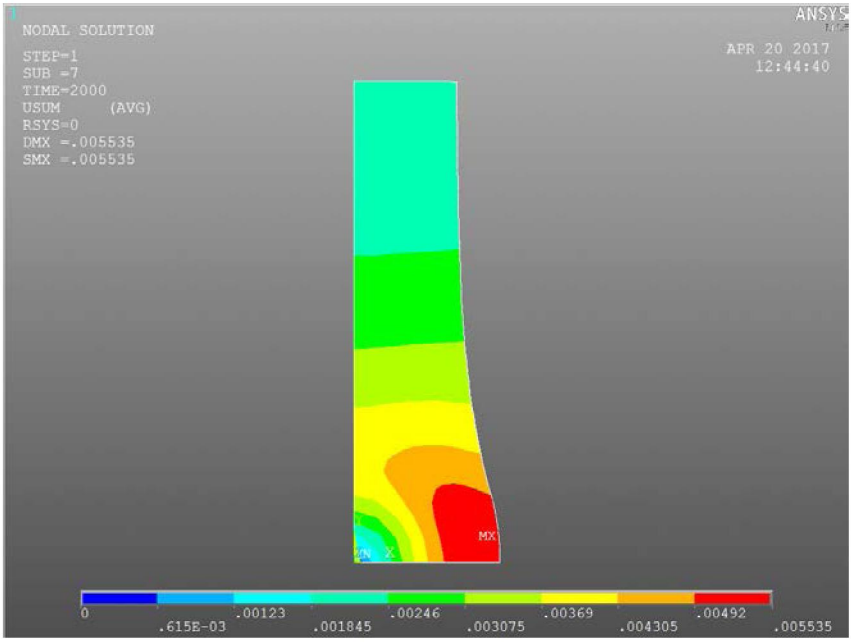


Рис. 1. Поле перемещений после полного нарастания изделия

В виду очевидной симметрии образца задача решалась для половины изделия, что качественно сказалось на скорости вычислений. Результаты моделирования показали, что форма итогового образца будет чашеобразная (см. рис. 1), наибольшие отклонения были зафиксированы в основании изделия и составили 10 мкм.

Список литературы

1. *Ковалев О.Б.* Фундаментальные проблемы моделирования

и диагностики процессов в лазерных технологиях аддитивного производства объемных металлоизделий // В сборнике: XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики сборник докладов. Составители: Д.Ю. Ахметов, А.Н. Герасимов, Ш.М. Хайдаров; ответственные редакторы: Д.А. Губайдуллин, А.И. Елизаров, Е.К. Липачев. 2015. С. 1836–1838.

2. *Коноплев Ю.Г., Мазуренко А.В., Саченков О.А., Тихилов Р.М.* Численное исследование влияния степени недопокрытия вертлужного компонента на несущую способность эндопротеза тазобедренного сустава // Российский журнал биомеханики. 2015. Т. 19. № 4. С. 330–343.

3. *Котельников Г.П., Колсанов А.В., Николаенко А.Н., Попов Н.В., Иванов В.В., Щербовских А.Е., Приходько С.А., Платонов П.В.* Применение 3D-моделирования и аддитивных технологий в персонифицированной медицине // Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи. 2017. № 1. С. 20–26.

4. *Саченков О.А., Хасанов Р.Ф., Андреев П.С., Коноплев Ю.Г.* Численное исследование напряженно-деформированного состояния тазобедренного сустава при ротационной остеотомии проксимального участка бедренной кости // Российский журнал биомеханики. 2016. Т. 20. № 3. С. 257–271.

5. *Хоменко М.Д., Дубров А.В., Мирзаде Ф.Х.* Стратегии декомпозиции в задачах моделирования процессов аддитивных лазерных технологий // Автометрия. 2016. Т. 52. № 6. С. 110–119.

MODELING OF THE FROM DEVIATION IN ADDITIVE PRODUCTION

Bolshakov P.
Supervisor: O. Sachenkov, PhD
(Kazan Federal University, Kazan)

In this paper, modeling of the production of a rectangular sample by the methods of additive technology is considered. The algorithm of the modeling of the growth process is given in the work, the change in the shape of the sample is estimated in view of the temperature and phase processes.

УДК 537,52

РАСПЫЛЕНИЕ ЖИДКОГО КАТОДА В МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Булычев В.С.
Научный руководитель: Д.В. Духопельников,
канд. техн. наук, доцент
(*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва)*

В работе исследовано влияние на коэффициенты катодного распыления фазового состояния мишени при бомбардировке ионами аргона и ионами материала мишени. Получены значения коэффициентов катодного распыления для медных и алюминиевых катодов с поправкой на термическое испарение.

Введение

Магнетронное распыление является одним из наиболее перспективных методов получения тонкопленочных покрытий в вакууме [1]. Этот метод позволяет наносить плотные совершенные пленки с высокой адгезией к подложке [2–4].

Производство радиоэлектронных компонентов, гибких печатных плат, а также трибологические покрытия и иные покрытия в машиностроении требуют повышения скорости нанесения покрытия и снижения энергетических затрат. При этом требуются сохранение высокой адгезии и высокой плотности пленки. Наиболее очевидный способ поднять скорость роста покрытия и снизить энергетическую стоимость атома в покрытие – повышение коэффициента распыления.

Перевод катода в жидкую фазу позволяет увеличить скорость нанесения покрытия и снижает энергозатраты [5–7].

МРС с жидким катодом, на некоторых металлах, может работать без рабочего плазмообразующего газа в парах материала катода (режим самораспыления) [8-9].

В работах [5–7] показано возрастание скорости распыления

при переходе материала катода в жидкое состояние. При этом не проводилась оценка вклада катодного распыления и термического испарения в унос вещества с катода.

Целью данной работы являлась оценка изменения коэффициентов катодного распыления, с учетом количества вещества уносимого с катода за счет термического испарения.

Оборудование

Магнетронная распылительная система располагалась внутри вакуумной камеры. Источник питания МРС работал в режиме стабилизации тока. Температура оценивалась оптическим пирометром.

Взвешивание катода вместе с тиглем до и после работы производилось на аналитических весах с точностью 0,01 мг.

Эксперимент

Давление рабочего газа (аргона) при работе с медным катодом составляло $5 \cdot 10^{-2}$ Па, при работе с алюминиевым катодом — $1 \cdot 10^{-1}$ Па.

При достижении температуры катода выше температуры плавления, значительную роль начинают играть процессы термического испарения. Для того, чтобы минимизировать вклад термического испарения мощность, вкладываемая в разряд, подбиралась так, что температура расплавленного катода в стационарном режиме была выше температуры плавления на 50 К.

Распыление медных катодов из жидкого состояния производилось в двух режимах: в среде аргона и в режиме самораспыления. Распыление алюминиевых катодов из жидкого состояния проводилось в среде аргона. Режима самораспыления на алюминиевом катоде достичь не удалось.

Эффективный коэффициент катодного распыления определялся по разности масс катода до и после процесса распыления с учетом массы унесенной за счет термического испарения:

$$S = \frac{e(m_0 - m_k - m_{исп})}{m_p M_a I t} \qquad (1)$$

где $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ – элементарный электрический заряд, Кл;

$m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ – масса протона, кг;

$m_{0,}$ – масса катода с тиглем до распыления, кг;

$m_к$ – масса катода с тиглем после распыления, кг;

$m_{исп}$ – масса испаренного вещества, кг;

M_a – атомная масса исследуемого материала, а.е.м.;

I – ионный ток, А;

t – время работы магнетрона, с.

Унос массы за счет термического испарения $m_{исп}$ рассчитывалось по закону Герца-Кнудсена [10]:

$$\frac{dm}{dt} = \alpha F \sqrt{\frac{M_a m_p}{2\pi kT}} \left(p^* - p_0 \right), \tag{2}$$

где m – масса атома, кг;

F – площадь испарения, м^2;

$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ постоянная Больцмана, Дж/К;

T – температура испаряемого вещества, К;

p^* – давление насыщенного пара при температуре T, Па;

p_0 – гидростатическое давление испаряемого вещества в газовой фазе, Па;

α – коэффициент испарения.

Зависимость давления насыщенных паров (Па) от температуры (К) определялся из уравнения Клайперона-Клазиуса для однокомпонентной двухфазной системы [11]:

$$p^* = 133 \cdot 10^{A - \frac{B}{T}}, \tag{3}$$

где A и B – постоянные величины, известные для каждого вещества.

Средняя энергия ионов бомбардирующих катод МРС оценивалась как [12]:

$$\varepsilon_i = 0{,}8 e U_p, \tag{4}$$

где $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ – элементарный электрический заряд, Кл;

$U_р$ – напряжение разряда, В.

В таблице 1 приведены полученные коэффициенты распыления алюминия и меди в жидком состоянии в сравнении с коэффициентами распыления в твердом состоянии при одинаковых средних энергиях ионов (400 эВ для меди и 300 эВ для алюминия).

Таблица 1

Коэффициенты распыления меди и алюминия в различных фазовых состояниях

Коэффициент распыления	Распыляемый материал	
	Медь	Алюминий
Средняя энергия ионов, эВ	400	300
Коэффициент распыления из твёрдого состояния	1,8	0,6
Коэффициент распыления из жидкого состояния в среде аргона	2,1	1,0
Коэффициент распыления из жидкого состояния в режиме самораспыления	4,2	—

Выводы

Коэффициенты катодного распыления меди и алюминия из жидкого состояния превышают коэффициент катодного распыления из твердого состояния. Наибольший рост коэффициента катодного распыления у меди достигается в режиме самораспыления.

Показано, что рост скорости уноса массы с катода (возрастание скорости роста покрытия) связан как с ростом коэффициента катодного распыления, так и ростом скорости термического испарения.

Список литературы

1. *Духопельников Д.В.* Магнетронные распылительные системы. В 2 ч. Ч1: устройство, принципы работы, применение / Дмитрий Духопельников – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 55, [1] с.: ил. ISBN 978-5-7038-3798-6.

2. *Марахтанов М.К.* Трибологические свойства серебряных покрытий, полученных методом магнетронного распыления / М.К. Марахтанов, Д.В. Духопельников, Е.В. Воробьев, Д.В. Кириллов // Наноинженерия. – 2014. – № 9 (39). – С. 30–32.

3. *Духопельников Д.В.* Селективные покрытия солнечных коллекторов / Д.В. Духопельников, С.Г. Ивахненко, М.К. Марахтанов // Известия высших учебных заведений. Маши-

ностроение. – 2012. – № 5. – С. 75–80.

4. Способ нанесения проводящего прозрачного покрытия: пат. 2112076 Рос. Федерация : МПК: 6С23С14/35 А, 6С23С14/08 В/ авторы и заявители Титомир А.К. [и др.]; патентообладатель товарищество с ограниченно ответственностью «ТИКО».

5. *Данилин Б.С.* Осаждение металлических пленок путем распыления из жидкой фазы / М.В. Какурин, В.Е. Минайчев, В.В. Одиноков, В.К. Сырчин // Электронная техника. Сер. Микроэлектроника. – 1978. – Вып. 2 (74). – С. 84–87.

6. *Гвозде, В.В.* Исследование магнетронных распылительных систем с жидкометаллическим катодом с целью увеличения производительности и снижения энергозатрат процесса катодного распыления : дис. канд. техн. наук : – Москва, 1999.

7. *Тумаркин А.В.* Магнетронный разряд с расплавленным катодом / Г.В. Ходаченко, А.В. Казиев, И.А. Щелканов, Т.В. Степанова // Успехи прикладной физики. – 2013. – том 1. № 3. – С. 276–282.

8. *Духопельников Д.В.* Магнетронный разряд с жидкофазным катодом / Д.В. Духопельников, В.С. Булычев, Е.В. Воробьев // Вакуумная техника, материалы и технологии. Новелла. – 2016. – С. 108–112.

9. *Марахтанов М.К.* Разряд низкого давления в парах металла собственного катода / М.К. Марахтанов, А.Б. Понкратов // Письма в ЖТФ. – 1989. – Т. 15, вып. 4. – С. 91–94.

10. *Майссел Л., Гленга Р.* Технология тонких пленок. Справочник. Т.1. – М.: Советское радио, 1977. – 644 с. (Ин. Изд.: Maissel L., Glang R. Handbook of thin film technology. New York, McGraw-Hill Book Company, 1970).

11. *Грошковский Я.* Техника высокого вакуума. – М.: Мир, 1975 – 623 с. (Ин. Изд.: Groszkowski J. Technika wysokiej prozni. Warszawa, Wydawnictwa naukowo-techniczne, 1972).

12. *Елистратов Н.Г.* Экспериментальное моделирование взаимодействия плазмы изотопов водорода с элементами стенки реактора ИТЭР: Дис. канд. техн. наук. – Москва, 2004.

SPRAYING LIQUID-PHASE TARGET IN THE PLASMA OF THE MAGNETRON DISCHARGE

Bulychev V.
Supervisor: D. Dukhopelnikov, Ph.D., Associate Professor
(Bauman Moscow State Technical University, Moscow)

This research investigated the influence of the target phase state on the coefficients of cathode sputtering in the bombardment of argon ions and ions of the target material. The values of the cathode sputtering coefficients of copper and aluminum targets were estimated, adjusted for thermal evaporation.

УДК 53.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА В ДВУМЕРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

Валиахметова В.Д.
Научный руководитель: И.Г. Галеев,
докт. физ.-мат. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Рассмотрена история развития моделирования тлеющего разряда, в частности, положительного столба разряда, условия проведения и наблюдения. Описаны результаты и ошибки.

Тлеющий разряд представляет собой одну из распространенных форм самостоятельного разряда в газе. В классической физике его изучают уже весьма длительный период, его модели описаны в ряде книг и учебников, посвященных исследованиям газового разряда. Однако описание тлеющего разряда продолжает уточняться и пополняться.

Тлеющий разряд сегодня применяется в самых различных сферах: в промышленных установках и бытовых приборах, среди которых осветительные и индикаторные приборы, выпрямительные и стабилизирующие устройства, источники электронов, системы накачки мощных газовых лазеров, плазмохимические реакторы.

На сегодняшний день проведено множество исследований самого явления тлеющего разряда, а также создано немало моделей тлеющего разряда для расчета характеристик этого разряда. Наиболее известными являются модель Энгеля-Штеенбека [1] и модель Ворда [2]. Обе эти модели рассматривают разряд в одномерной системе, используя соответствующие упрощения и приближения.

А. Энгель и М. Штеенбек провели исследование с учетом того, что со стороны положительного столба в плазму поступает очень малый ионный ток, которым они впоследствии пренебрегли по сравнению с электронным. Еще одно важное приближение, которое использовалось в их исследовании, это зависимость поля,

которая, по их мнению, была строго линейной:

$$E(x) = E_k(1 - \frac{x}{d})$$

И третье приближение, к которому пришли авторы, это то, что в катодном слое диффузионное движение зарядов не вносит значительного вклада в протекание тока. Полученные результаты дают качественную картину, совпадающую с экспериментальными данными, но несмотря на это, при количественных подсчетах выявляется несоответствия: значение полной плотности тока не совпадает с опытными данными по порядку величины [3, 4].

Л. Ворд стал следующим, кто проводил исследования, отталкиваясь от вышеописанной работы. Но он считал, что Энгель и Штеенбек прибегли к слишком примитивным аппроксимациям для коэффициента Таунсенда и дрейфовых скоростей ионов и электронов. К тому же, Ворд рассматривал разрядный промежуток как одно целое, то есть он принимал во внимание влияние плазмы на протекание разряда. Его теория позволила предсказывать длину катодного слоя и падения напряжения в нормальном режиме горения разряда, однако полная плотность тока до сих расходилась с экспериментальными данными на порядки.

Необходимо отметить, что на характеристики разряда оказывают существенное влияние условия его поддержания, такие как: геометрия разрядной камеры, наличие прокачки газовой среды, наличие предыонизации и т.п.

В работах [5-6] проведено исследование характеристик положительного столба тлеющего разряда в потоке атомарного газа и смеси молекулярных газов. В работах [6–8] исследовано влияние дополнительного вдува газа через стенку канала на характеристики продольного разряда, а в работе [9] представлены данные о влиянии формы канала.

Представляют определенный интерес результаты, полученные в работах А.К. Сухова [10, 11], где получена временная зависимость поведения плотности зарядов в ходе развития разряда, а также показано изменение во времени параметров разряда в аргоне на различных стадиях его развития в двумерной постановке. В работах Сайфутдинова А.И. [12, 13] проведено исследование тлею-

щего разряда с учетом нелокальных зависимостей частоты ионизации и коэффициента Таунсенда от напряженности электрического поля, которые дают более точные результаты.

В ней использована система уравнений, которая включает в себя уравнения неразрывности для электронной и ионной компонент и уравнение Пуассона для напряженности электрического поля. Но напряженность поля здесь зависит от значения напряженности электрического поля на предыдущем шаге:

$$E^* = E - \frac{dE}{dx}\frac{\lambda_{ion}}{2},$$

то есть учитывается набор энергии электроном на длине пробега перед столкновением с нейральной частицей.

В дальнейшем развитии этого исследования наряду с учетом нелокальной зависимости коэффициента Таунсенда от напряженности электрического поля, Ю была использована система уравнений, которая учитывает вклад диффузионного и дрейфового слагаемых, а коэффициент Таунсенда зависит от нелокального распределения напряженности электрического поля:

$$\alpha^*_{ion} = Ape^{\frac{-Bp}{E^*}}.$$

Были получены следующие результаты, как отмечает автор: «Показано наличие областей отрицательного свечения и фарадеева темного пространства с характерными для них максимумом концентрации электронов и минимумом напряженности электрического поля. Выявлено, что ответственной за образование этих областей является именно нелокальная зависимость коэффициента Таунсенда от напряженности электрического поля».

С научной точки зрения большой интерес представляет проведение моделирование характеристик тлеющего разряда с учетом по крайней мере двумерности их распределения и, с учетом именно нелокальности зависимости частоты ионизации в прикатодной области от приведенной напряженности электрического поля. Это позволит более точно определить структуру прикатодной области, особенности распределения основных характеристик в ней.

Список литературы

1. *Ward A.L.* Calculations of Cathode-Fall Characteristics //

J. Appl. Phys. – 1962. – 33, 2789.

2. *Энгель А., Штеенбек М.* Физика и техника электрического разряда в газах. Т. 2. Свойства газовых разрядов. Технические применения. — М.: ОНТИ НКТП СССР, 1936. – 383 с.

3. *Райзер Ю.П.* Физика газового разряда. – М.: Наука, 1992. – 538 с.

4. *Даутов Г.Ю., Тимеркаев Б.А.* Генераторы неравновесной газоразрядной плазмы. – Казань, ФЭН, 1996. – 199 с.

5. Галеев *И.Г., Асадуллин Т.Я., Исрафилов З.Х., Тимеркаев Б.А.* Положительный столб продольного тлеющего разряда с распределенным дополнительным вдувом газа через стенку разрядной камеры / Вестник КГТУ, № 2, 2000 г. С. 59–62.

6. *Галеев И.Г., Тихомиров И.А., Асадуллин Т.Я.* Электрические характеристики положительного столба продольного тлеющего разряда в осесимметричном канале переменного сечения / Известия Вузов. «Физика». – № 10. – 1995. – С. 37–41.

7. Галеев И.Г., Тимеркаев Б.А. Модель положительного столба тлеющего разряда в потоке смеси газов / Теплофизика высоких температур. – 1987. – № 5. – С. 857–864.

8. *Галеев И.Г., Тимеркаев Б.А.* Модель положительного столба разряда в потоке смеси газов при низких давлениях // ИФЖ. – 1986. – Т. 51. – С. 487–492.

9. *Галеев И.Г., Асадуллин Т.Я., Исрафилов З.Х., Тимеркаев Б.А.* Положительный столб продольного тлеющего разряда с распределенным дополнительным вдувом газа через стенку разрядной камеры // Вестник КГТУ, № 2, 2000 г. С. 59–62.

10. *Сухов А.К.* Двумерное моделирование формирования тлеющего разряда в аргоне. Часть 2. Результаты моделирования // Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова № 6, 2014, С. 18–25.

11. *Сухов А.К.* Двумерное моделирование формирования тлеющего разряда в аргоне. Часть 1. Модель и расчетная схема // Вестник Костромского государственного университета имени Н.А. Некрасова. – 2014. – Т. 20. – № 6. – С. 15–24.

12. Самоорганизация слоистой структуры нормального тлеющего разряда Тимеркаев Б.А., Петрова О.А., Сайфутдинов А.И. Инженерно-физический журнал. 2016. Т. 89. № 2. С. 477–482.

13. Дрейфовая модель тлеющего разряда с учетом нелокального значения напряженности электрического поля в источнике ионизации Тимеркаев Б.А., Сайфутдинов А.И. Инженерно-физический журнал. 2012. Т. 85. № 5. С. 1104–1109.

MODEL OF A GLOW DISCHARGE IN 2D COORDINATE SYSTEM

Valiakhmetova V.
Academic advisor: I. Galeev,
Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The paper observes the history of modeling a glow discharge in particular a positive glow. There are also exist needed conditions of a glow discharge and results of those experiments

УДК 621.791.725

ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРА НА КАЧЕСТВО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Вулпе М.Н., Иутин Р.В., Морушкин А.Е.
Научный руководитель: С.В. Курынцев, канд. экон. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Проведено сравнение двух способов лазерной сварки разнородных сталей: с образованием парогазового канала и сварка лазерным лучом посредством теплопередачи. Была установлена зависимость твердости металла сварного шва в зависимости от выбора способа лазерной сварки.

В последнее время к аддитивным технологиям уделяется все больше и больше внимания [1]. Аддитивные технологии способны вывести металлообработку и машиностроение на более высокий уровень путем внедрения этих новых технологий в производство на место традиционных методов производства, таких как литье, штамповка и прочее. Одной из аддитивных технологий является технология SLM (selective laser melting – селективное лазерное плавление) – метод, использующий лазер высокой мощности для создания деталей путем плавки металлического порошка. Таким методом можно вырастить детали сложной конфигурации, например, форсунки или лопатки турбин, которые порой очень сложно или же невозможно создать традиционными методами. Однако аддитивные технологии на данный момент не являются идеальным методом производства по нескольким факторам: ограничение размеров детали, обусловленное размером рабочей камеры, наличие остаточных напряжений после создания деталей и более высокая себестоимость детали относительно традиционных методов производства. Для последнего фактора наиболее экономически выгодным решением будет являться соединение, состоящее из детали, выращенной аддитивным способом и детали, созданной традиционным методом. Как правило, аддитивно выращенные детали имеют небольшой размер, поэтому в выборе способа соединения не-

плохим решением будет являться лазерная сварка [2, 3], обладающая высокой концентрацией энергии, возможностью сварки высокоточных конструкций и высокой экологической чистотой.

В данном исследовании речь идет о соединении, полученном применением лазерной сварки, двух заготовок: первая заготовка была произведена при помощи аддитивной технологии (АТ), вторая заготовка – листовой прокат. Сварочные работы были проведены на установке LS-20 "IPG – Photonics" (USA) оснащенной роботом KUKA KR 120 R 2700 extra HA, сварочной головой KUGLER GmbH, LK-690. Длина волны волоконного лазера составляет 1070 нм, фокусное расстояние – 450 мм, диаметр лазерного пятна – 200 мкм. В качестве защитного газа использовался аргон для защиты верхней части расплавленной ванны. Скорость расхода защитного газа составляла 17 л/мин., скорость сварки – 30 мм/с. Аддитивно выращенная заготовка приваривалась перпендикулярно к детали из проката: с одной стороны мощность лазера составляла 900 Вт, с другой – 1200 Вт, обе детали не подвергались предварительной термической обработке. В ходе эксперимента наблюдалось режима сварки: с образованием парогазового канала (ПГК) и сварка лазерным лучом посредством теплопередачи (ТП).

ТП – режим, который в основном используется для сварочного соединения тонкостенных деталей и характеризуется постепенным плавлением материала с последующим формированием шва при затвердевании. ПГК – режим, применяющийся в основном для сварки деталей большей толщины и характеризующийся появлением факела в процессе сварки, который возникает из-за значительного превышения скорости теплопроводности, вследствие чего появляется канал, из которого исходит плазменный факел, состоящий из паров металла. Сам факел поглощает часть энергии, что ведет к понижению проплавляющей способности.

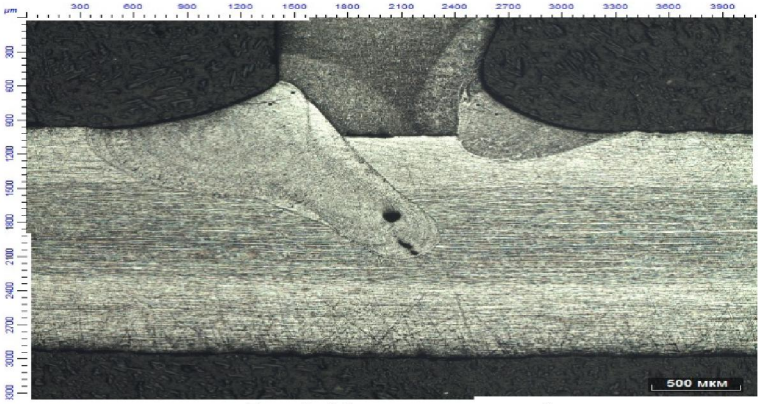


Рис. 1. Микроструктура образца

При исследовании микроструктуры полученных образцов (рис. 1), можно отметить то, что, несмотря на, казалось бы, небольшое приращение мощности около 30 %, глубина проплава при мощности лазера в 1200 Вт значительно больше, чем при 900 Вт. При рассмотрении стыка двух деталей наблюдается подрезы выращенной детали, причем в режиме ТП этот подрез значительно больше. На основании этого можно сказать, что сварные швы, полученные в режимах ПГК и ТП состоят из разных по составу металлов. В данном эксперименте твердость аддитивно созданной детали в среднем равна 850 HV, твердость детали из проката – 240 HV. При мощности лазера 900 Вт содержание металлов в зоне сварного соединения примерно на одном уровне, чего нельзя сказать о зоне сварного соединения, полученной при мощности лазера в 1200 Вт. При 1200 Вт зона сварного соединения состоит преимущественно из металла детали проката, то есть свойства полученной зоны и детали проката должны быть примерно схожи. Также можно отметить, что в шве, полученном в режиме ПГК, наблюдается наличие пор, что свойственно для лазерных швов с неполным проплавлением.

Схема измерения твердости изображена на рисунке 2. По измеренным значениям были построены графики распределения микротвердости, изображенные на рисунке 3. Первый график соответствует измерениям твердости соединения при мощности 900 Вт,

режим сварки – ТП, второй – 1200 Вт, режим сварки – ПГК. По второму графику видно, что твердость сварного соединения практически не отличается от твердости детали из проката. По первому же графику ситуация иная: твердость сварного соединения на порядок отличается от детали из проката. Как и предполагалось выше, твердость сварного соединения при режиме ТП выше, чем при ПГК.

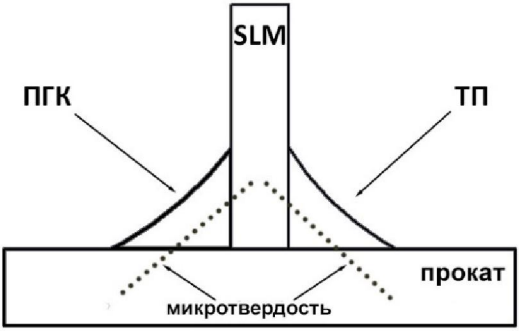


Рис. 2. Схема измерения твердости

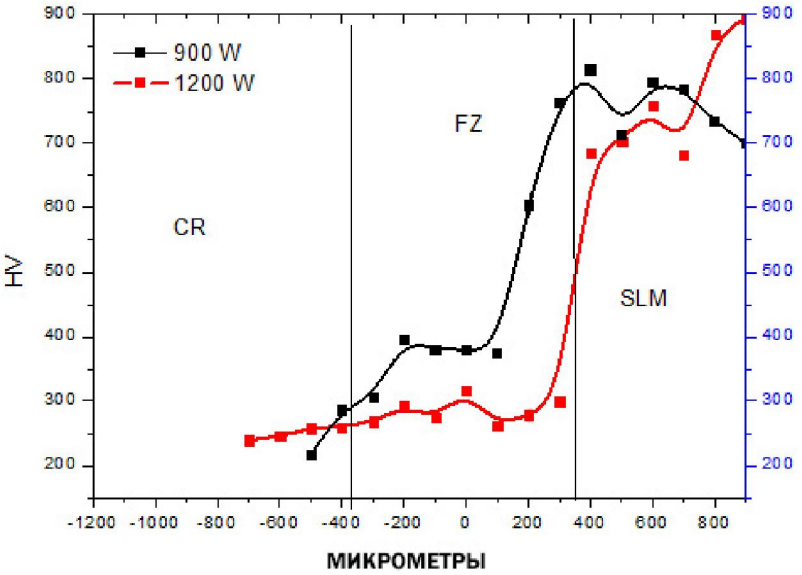


Рис. 3. Микротвердость сварного соединения:
CR – заготовка из проката, FZ – зона сварки
(сварной шов), SLM – аддитивно выращенная деталь

Как правило, детали, созданные по технологии SLM, имеют высокие значения твердости и прочности. Если данную деталь сваривать с образцом, имеющим более низкую твердость, то для получения более твердого шва нужно применять лазер такой мощности, чтобы сварка проходила в режиме ПГК. При этом часть детали будет «подрезана», за счет чего произойдет укрепление сварного соединения. Если будут свариваться две одинаковые по твердости детали, то большей твердостью будет обладать шов, полученный в режиме ТП, так как в этом режиме плавится наименьший объем металла, скорость охлаждения будет выше, как, следовательно, и твердость.

Анализируя приведенный выше материал, можно сделать некоторые выводы: твердость сварного соединения разнородных сталей, полученного лазерной сваркой, будет выше в режиме ТП. Для этого режима характерны заметные «подрезы» АТ-заготовки и бо-

лее равномерная структура сварного соединения. Для режима ПГК характерны более низкая твердость в сравнении с режимом ТП, более заметная глубина проплава, минимальный «подрез» SLM детали и наличие пор. Таким образом, выбор режима лазерной сварки будет влиять на прочность сварного соединения.

Список литературы:

1. *Курынцев С.В., Нагулин К.Ю., Горунов А.И.* Аддитивные технологии – третья индустриальная революция // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2016. № 7 (61). С. 39–44.

2. *Курынцев С.В., Шиганов И.Н.* Современные тенденции лазерной сварки Обзор часть 2 // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2015. № 9. С. 15–20.

3. *Курынцев С.В., Гильмутдинов А.Х., Шиганов И.Н.* Сварка расфокусированным лазерным лучом // Сварочное производство 2016 № 2. С. 34–39

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ ОФИ-М №14-29-10281.

THE INFLUENCE OF LASER POWER ON THE QUALITY OF WELDING SEAM

Vulpe M., Iutin R., Morushkin A.
Supervisor: S. Kuryntsev, cand. econ. sciences, associate professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan)

Two methods of laser welding of dissimilar steels have been compared: with the formation of a keyhole and laser beam welding by heat conduction. The dependence of the hardness of the welding seam's metal was determined, depending on the choice of the laser welding method.

УДК 537.5

СВОЙСТВА ПОРОШКА ПОЛУЧЕННОГО ИЗ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВОВ МЕТАЛЛА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

Гарифуллин Б.И., Зарипов И.М., Белавин А.Ю.
Научный руководитель: М.Ф. Ахатов, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, Казань)

Порошковые материалы на основе чистых металлов и их оксидов находят широкое применение в различных отраслях промышленности: металлургии, машиностроении, электроэнергетике, химической промышленности и т.д. Прогресс в любой отрасли базируется сегодня на новых материалах, способных обеспечить высокие эксплуатационные характеристики и надежную работу оборудования. Поэтому разработка более простых, дешевых и эффективных методов получения порошковых материалов с заданным уровнем технологических характеристик становится всё более актуальной задачей.

Одним из перспективных способов получения порошковых материалов является распыление металлических электродов плазмой электрического разряда между проточным электролитическим катодом и металлическим анодом. Исследованию электрических разрядов между металлическим и проточным электролитическим электродами в последние годы уделяется большое внимание. Интерес к таким разрядам объясняется тем, что их применение в технологических процессах дает ряд преимуществ. Режимами горения разряда можно легко управлять изменением концентрации и состава проточного электролита.

Получение металлических порошков с использованием электрического разряда между электролитическим и металлическим электродами при атмосферном давлении рассматривалось в [54, 79, 82–85, 87]. Описанные в указанных работах методики получения порошков различаются применяемыми электролитами, напряжением и током разряда. В [85] показана зависимость среднего размера

частиц получаемого порошка оксида железа от плотности тока на металлическом электроде. Недостатком методики, предложенной в [85] является невозможность получения порошков со средними размерами частиц менее 5 мкм. Это связано с тем, что при минимальных значениях тока разряда, предполагаемых по [85], не наблюдается процесса образования порошка.

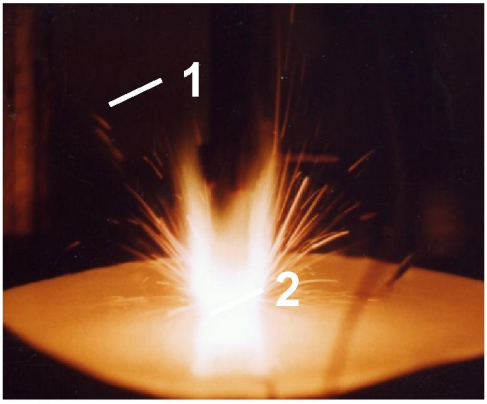


Рис. 1. Фотография процесса получения оксидного порошка железа при P = 75 кПа, U = 700 В, I = 0,64 А, l = 8 мм, v = 0,05 м/с:
1 –металлический анод (сталь 45);
2 –электролитический катод (техн. вода)

Рассмотренная методика получения порошка заключается в том, что электрический разряда зажигается между проточным электролитическим катодом и металлическим анодом из стали 45, диаметр металлического анода варьируется в пределах dA = 4÷15 мм, межэлектродное расстояние – l = 4÷40 мм, давление в разрядной камере – P = 2÷20 кПа, напряжение и ток разряда регулируются таким образом, чтобы плотность тока на аноде составляла jA = 0,4÷2,4 А/см2, скорость течения электролита выбирается в пределах v = 0,1÷0,3 м/с, чтобы обеспечивать отведение получаемого порошка из области горения разряда. В качестве проточного электролита используется раствор NaCl в технической воде, концентрация которого находится в пределах C = 2÷10 %. Осуществление процесса при пониженных давлениях позволяет получать

порошки при плотностях тока на металлическом аноде менее 1 А/см2. Благодаря этому, средние размеры частиц получаемых порошков оксида железа получаются меньше, чем по другой методике.

Список литературы

1. portal.tpu.ru:7777/SHARED/v/VAKARELIN/Work/.../Электролиз%20меди_1.doc

2. *Галимов И.А., Ахатов М.Ф., Каюмов Р.Р., Гайсин А.Ф.* Модификация пластин свинцово-кислотных аккумуляторов для увеличения срока службы. В сборнике: Инновационные технологии XXI века материалы Международной научно-практической конференции. Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. 2015. С. 232–234.

SOME FEATURES OF OBTAINING A COPPER POWDER WITH LIQUID ELECTRODES

Zaripov I., Belavin A., Garifullin B.
Scientific adviser: M. Akhatov, assistant professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Powder materials based on pure metals and their oxides are widely used in various industries: metallurgy, machine building, electric power, chemical industry, etc. Progress in any industry is based today on new materials that can provide high performance and reliable operation of equipment. Therefore, the development of simpler, cheaper and more efficient methods for obtaining powder materials with a given level of technological characteristics is becoming an increasingly urgent task.

УДК 669.295:621.762

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ ИЗ СПЛАВА TI-6AL-4V, ПОЛУЧЕННЫХ ПУТЕМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

Герман М.А., Мамонтова Н.А., Кавченко Е.В.
Научный руководитель: С.В. Скворцова,
докт. техн. наук, профессор
(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва)

В настоящее время аддитивные технологии являются перспективным и быстро развивающимся направлением в порошковой металлургии. Изделия, полученные при помощи 3D-печати применяют в различных отраслях промышленности, таких как авиация, машиностроение и медицина. Большое внимание уделяется процессам получения порошков и технологическим параметрам процесса сплавления, а материаловедческие вопросы структурообразования в процессе сплавления и последующей обработки, а также свойства получаемых изделий практически не рассматриваются. Целью данной работы является изучение структуры и свойств титановых образцов, полученных методом 3D-печати.

На первом этапе работы были изготовлены образцы на 3D принтере Concept Laser M2 Cusing. Данный 3D принтер использует технологию селективного лазерного сплавления LaserCusing®. Принцип работы данной системы заключается в выборочном плавлении тонкого слоя металлического порошка лучом лазера в соответствии с геометрией сечения детали, соответствующей каждому слою порошка. Все параметры технологического процесса контролируются специализированными программно-аппаратными модулями системы в реальном времени.

Для изготовления образцов использовался порошок сплава Ti-6Al-4V, большая весовая доля которого приходится на частицы размером 15-30 мкм. Химический состав порошка представлен в Таблице 1.

Для проведения дальнейших исследований были изготовле-

ны образцы размером 11×11×55 мм и ∅ 12×100 мм.

На исходных образцах была исследована структура, измерена твердость и плотность.

Таблица 1

Химический состав порошка для 3D-печати

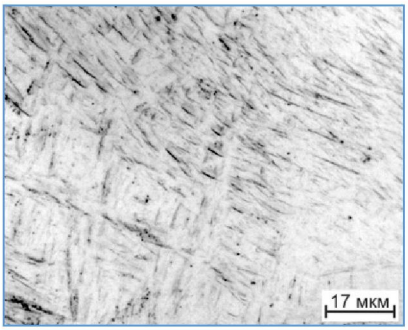
Ti	Al	V	Примеси, не более (масс. %)				
			Fe	C	O	N	H
Ост.	5,92	3,7	0,14	0,052	0,116	0,018	0,0039

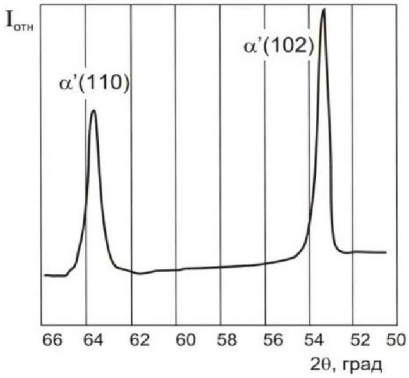
Структура образцов представлена мартенситом α′ (рис. 1а, б). Образование мартенсита обусловлено высокой скоростью отвода тепла от зоны спекания гранул. То, что структура в основном представлена мартенситом свидетельствует и тот факт, что на дифрактограммах не обнаружено отражений от β-фазы (рис. 1в).

Твердость образцов колеблется от 35 до 38 ед. HRC. Это, возможно, связано с разными условиями охлаждения слоев в процессе «выращивания» образцов.

Методом гидростатического взвешивания была измерена плотность образцов в исходном состоянии, т.е. непосредственно после 3D-печати, которая составила 4,42 г/см^3. Для сравнения была измерена плотность образца, вырезанного из прутка сплава Ti-6Al-4V, полученного по промышленной технологии, которая составила 4,44 г/см^3. Таким образом, плотность образцов после 3D-печати практически не отличается от плотности деформированного полуфабриката.

Была изучена структура образцов после отжига. Отжиг проводили в вакууме, чтобы не допустить окисления их поверхности. Деформированные полуфабрикаты из сплава Ti-6Al-4V обычно подвергают стандартному отжигу при температурах 750°C-850°C. Поэтому для исследований было выбрано две температуры 850°C и 820°C.

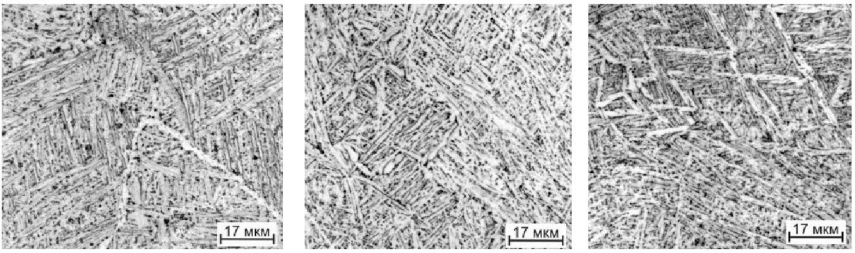




а) б)

Рис. 1. Микроструктура и участки дифрактограмм образцов из сплава Ti-6Al-4V после 3D-печати

Структура образцов после отжига представлена α-фазой, имеющей пластинчатую морфологию, «наследуемую» от исходной структуры мартенсита, и небольшим количеством β-фазы (рис. 2 а–в). Следует заметить, что с повышением температуры отжига с 820°С до 850°С в структуре более чётко выявляется α-оторочка, и происходит небольшое укрупнение пластин α-фазы (рис. 2а, б). Возникновение α-«оторочки» в структуре обусловлено тем, что границы являются наиболее дефектными местами и, следовательно, предпочтительными местами зарождения, причём с повышением температуры их роль в процессе зарождения повышается. Распад мартенсита с выделением α-фазы начинается именно по границе и только затем в теле β-зерен. Отжиг при 820°С приводит к формированию более однородной структуры. «α-оторочка» также присутствует в структуре, но её размер соизмерим с размером α-пластин в теле зерна, поэтому она чётко в структуре не выявляется. Незначительные отличия в структуре после отжига не оказывают влияния на твёрдости 3D-образцов, среднее значение которой составляет 35 ед. HRC.



а) б) в)

Рис. 2. Микроструктура 3D-образцов
из сплава Ti-6Al-4V после вакуумного отжига
при температурах 850°С (а), 820°С (б), 550°С +820°С (в)

С целью уменьшения размера α-пластин был опробован режим двухступенчатого вакуумного отжига. Вначале нагревали до температуры 550°С, выдерживали в течение 3 часа, затем поднимали температуру до 820°С, выдерживали 2 часа. Размер структурных составляющих при распаде метастабильных фаз первую очередь зависит от соотношения скорости зарождения частиц и скорости их роста, которые определяются температурой. Первая ступень отжига (550°С) обеспечивает зарождение большего количества частиц α-фазы, а при последующем повышении температуры до 820°С хоть и происходит их рост, но вследствие большого их количества соседние частицы будут взаимно тормозить движение межфазной границы и должно произойти измельчение структуры. Проведённые исследования показали, что ступенчатый отжиг позволил немного измельчить структуру, хотя существенных отличий не наблюдается (рис. 2).

Методом гидростатического взвешивания была измерена плотность 3D-образцов после всех режимов термической обработки. Она не изменилась по сравнению с исходным состоянием и составила 4,42 г/см^3.

На заключительном этапе работы были проведены механические испытания 3D-образцов из сплава Ti6Al4V. Анализ результатов (таблица 2) показывает, что образцы в исходном состоянии имеют прочность порядка 1130 МПа, что объясняется их мартенситной структурой. Вакуумный отжиг при температуре 820°С ис-

ходных 3D-образцов обеспечивает придел прочности 990 МПа Данные значения сопоставимы с прочностью для отожжённого деформированного полуфабриката из сплава Ti-6Al-4V (900 – 1050 МПа).

Таблица 2

Механические свойства 3D-образцов из сплава Ti-6Al-4V

Режим обработки	$\sigma_в$, МПа	δ, %	ψ, %	Ударная вязкость KCU, МДж/м^2
Исходное состояние	1127	11	25	0,29
	1132	11	35	0,23
В.О *820℃, 2ч, охл. с печью*	985	16	62	0,45
	993	12	35	0,47

Значения предела прочности, относительного удлинения и ударной вязкости, полученные после испытания двух образцов, отличаются не значительно. А значения относительного сужения для двух испытанных образцов, обработанных по одинаковому режиму, отличается в два раза Проведённый анализ структуры образцов в месте излома не выявил существенной разницы Возможно, такая разница в значениях относительного сужения связана с несовершенством 3D-печати за счёт образования микропористости.

Таким образом, проведённые исследования показали, что в образцах из сплава Ti-6Al-4V непосредственно после 3D-печати формируется мартенситная структура и необходимо проведение отжига для получения равновесного состояния. Плотность образцов в исходном состоянии составляет 4,42 г/см^3, что практически не отличается от плотности деформированного полуфабриката. Структура после отжига характеризуется пластинчатой морфологией, которую α-фаза «наследует» от мартенсита. Твердость образцов составляет 35 ед. HRC. Плотность образцов после проведения вакуумного отжига не изменяется и составляет 4,42 г/см^3.

STRUCTURE AND PROPERTIES INVESTIGATION OF SAMPLES OBTAINED BY SELECTIVE LASER MELTING MADE OF TI-6AL-4V ALLOY

German M., Mamontova N., Kavchenko E.
Supervisor: S. Scvortsova, Doctor of Engineering Science, professor
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

Currently additive manufacturing is advanced and fast emerging method of powder metallurgy. Products obtained by the means of 3D-printing are used in different industrial fields such as aviation, mechanic engineering and medi-cine. The purpose of this research is to investigate the structure and properties of titanium semi-finished products, obtained by the 3D-printing method.

УДК 621.791.725

СРАВНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ И ЛАЗЕРНО-ДУГОВОЙ ВИДОВ СВАРКИ В ОБЛАСТИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Гирфанова А.Г., Вулпе М.Н.
Научный руководитель: С.В. Курынцев, канд. экон. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Работа посвящена анализу выбора метода сварки, заготовок, полученных аддитивными технологиями (АТ), в частности послойного лазерного спекания металлопорошковых композиций. На сегодняшний день технологии SLM (Selective Laser Melting – селективное лазерное спекание) представляют собой обширную и важную область для изучения. Были проанализированы научные публикации по лазерной и лазерно-дуговой сварке, заготовок, полученных АТ.

Аддитивные технологии являются новыми технологиями производства деталей из металла, которые со временем могут заменить литьё или штамповку. Рационально АТ производить сложно конфигурированные изделия с маленькой толщиной стенки, например, вентилируемые лопатки турбин, форсунки и другие детали [1]. Ввиду долгого времени выращивания и накопления остаточных напряжений возможно легче вырастить части детали и сварить их между собой. Поэтому соединение АТ заготовок между собой или с другим металлом является актуальным вопросом. Для экономии дорогостоящего порошкового материала рационально приваривать выращенные заготовки к катанным, кованным или литым заготовкам, простой геометрической формы.

Как правило, толщины свариваемых заготовок около 1 мм и менее, более технологичными видами является соединения тавр или нахлёст. Лазерная сварка является подходящей, ввиду того что необходимо сваривать очень малые толщины, с наименьшим тепловложением [2]. Лазерная сварка успешно применяется для сварки разнородных сталей, как малых, так и больших толщин.

В работе [3] исследователи сравнивают различные виды сварки, выявляя основные особенности каждого вида. Было отмечено, что свойства аддитивно изготовленных деталей значительно варьируются в зависимости от направления выращивания. Это связано с тем, что детали выращены слоями, что вызывает анизотропию микроструктуры заготовок. Кроме того, плотность детали оказывает большое влияние на механические свойства, а пористость понижает прочность АТ-заготовок. Экспериментальные исследования показали, что сварные соединения АТ-заготовок высокого качества могут быть получены сваркой неплавящимся вольфрамовым электродом в среде инертного газа. Полученные сварные соединения имеют высокую хрупкость, что является ограничивающим фактором, поскольку пластичные сварные швы более предпочтительны для повышения надежности конструкции. Для повышения пластичности необходимо выбирать направление сварки, совпадающее с направлением выращивания. Микрографическое исследование показало, что линия сплавления АТ-заготовок является очень резкой и отсутствует четкая зона термического влияния. Содержание феррита в сварных швах также находилось в пределах подходящего уровня для предотвращения растрескивания при затвердевании. Авторы делают вывод, что сварка АТ-компонентов открывает новые возможности, поскольку детали, которые трудно изготавливать традиционными способами производства, могут быть изготовлены АТ, а затем сварены.

Авторы [4] описывают технологию гибридной лазерно-дуговой сварки пластин из нержавеющей стали полученных АТ с коваными пластинами. Для гибридной сварки применялись высокомощный волоконный лазер и электрическая дуга. Исследовалось влияние взаимного расположения лазерного луча и электрической дуги на глубину проплава и металл шва. Механические испытания на растяжение показали хорошую прочность, но маленькое удлинение, что можно исправить последующей термической обработкой. Также на механические свойства металла шва можно повлиять применением присадочного материала, обеспечивающего высокую пластичность.

Авторы [5] сравнивали свариваемость выращенной нержаве-

ющей стали и листовой нержавеющей стали одинакового химического состава. Сравнение производилось путем переплава листов на одинаковых режимах и сравнении результатов. Как правило, заготовки, выращенные аддитивными технологиями, имеют высокий уровень остаточных напряжений, в результате чего, появляются трещины в некоторых образцах переплавленных на высоких скоростях. Также различия были найдены в глубине проплавления, форме проплава и типах сварочных дефектов (рис. 1).

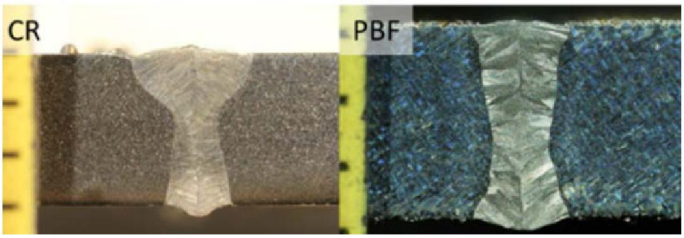


Рис. 1. Микроструктура проплавов CR – проката и PBF – выращенного листа, одного и того же химического состава и толщины, режим проплава P = 2.5 кВт, v = 1.75 м/мин

Авторы [6] описывают исследование сварных соединений полученных лазерной сваркой из сплава на основе кобальта, полученного DMD-технологией (Direct Metal Deposition – выращивание высокоточной наплавкой) и кованого сплава на основе никеля. Перед сваркой DMD-заготовки были подвергнуты термической обработке, что оказало положительное влияние на пластичность при механических испытаниях. Механические испытания полученных сварных соединений показали, что предел прочности сварных соединений около 800 МПа. Проведение механической и термической обработки практически во всех случаях является необходимым для заготовок полученных АТ.

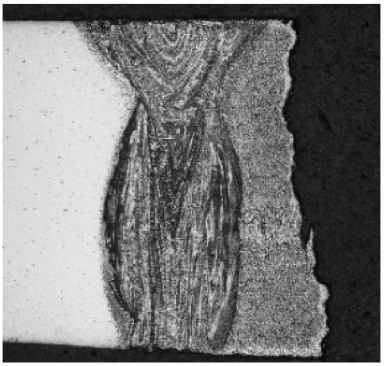


Рис. 2. Микроструктура сварного соединения после механических испытаний

Из представленного обзора можно сделать следующие выводы:

– для малых толщин рационально применять лазерную сварку, а для толщин от 3–4 мм можно применять как лазерную, так и гибридную лазерно-дуговую сварку;

– режимы и технологию сварки необходимо подбирать в каждом конкретном случае, так как даже материалы одного химического состава и толщины, но полученные различными методами, имеют существенные различия в глубине проплава и форме шва.

Список литературы:

1. *Курынцев С.В., Шиганов И.Н.* Современные тенденции лазерной сварки Обзор часть 2 // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2015. № 9. С. 15–20.

2. *Курынцев С.В., Нагулин К.Ю., Горунов А.И.* Аддитивные технологии – третья индустриальная революция // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2016. № 7 (61). С. 39–44.

3. *Jukka-Pekka Järvinen*: Welding of additively manufactured stainless steel parts: Comparative study between sheet metal and selective laser melted parts; Lappeenranta University of Technology, 2014

4. *Casalino G, Campanelli S, Ludovico A.* Laser-arc hybrid welding of wrought to selective laser molten stainless steel. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013;68:209–16.

5. *Ville-Pekka Matilainen, Joonas Pekkarinen, Antti Salminen.* Weldability of additive manufactured stainless steel. International Conference on Photonic Technologies, 2016;83:808-817.

6. *Martin Dahmen, Marco Göbel.* Mechanical Properties and Fracture Behaviour of LMD Produced 2.4682 and Wrought 2.4630 Dissimilar Welds. Fraunhofer-Institut for Laser Technology,2016;83:426-436.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ ОФИ-М №14-29-10281.

COMPARISON OF LASER AND LASER ARC WELDING IN THE SPHERE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES

Girfanova A., Vulpe M.
Supervisor: S. Kuryntsev,
cand. econ. sciences, associate professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

This article is devoted to the analysis of the choice of the welding method, blanks obtained by additive technologies (AT), in particular layer-by-layer laser sintering of metal powder compositions. Today, SLM (Selective Laser Melting) technology represents an extensive and important area for learning. Scientific publications on laser and laser-arc welding, blanks obtained by AT, were analyzed.

УДК 621.791.92:669.245

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКА НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ОЛОВЯНИСТЫХ БРОНЗ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Горунов А.И., Зимин А.Г., Гайсина А.Р.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В работе представлены результаты наплавки оловянистой бронзы на подложку из углеродистой стали. Показано, что дополнительная ультразвуковая обработка позволяет проводить наплавку без перемешивания наплавляемого металла с металлом подложки.

Введение

На сегодняшний день накоплен опыт нанесения защитных покрытий методом лазерной наплавки с применением порошкового материала [1, 2]. Однако, стремление к увеличению ресурса изделий, а так же снижению стоимости их ремонта заставляет осуществлять привлекать дополнительные методы защиты и обработки наплавляемого металла. Одним из таких методов является ультразвуковая обработка металла. Ультразвук в металлургических процессах позволяет осуществлять дегазацию и повышать жидкотекучесть расплавленного металла.

Под действием мощных акустических колебаний на границе с газовой фазой под действием мощных акустических колебаний, жидкость, может диспергировать в виде мелких капель. Особое внимание на сегодняшний день уделяется методам распыления и измельчения металлических сплавов, в виду развития аддитивных технологий. Как известно, качаство получаемых изделий зависит от качаства порошкового материала.

В промышленности, как правило, применяют оловянные бронзы, содержащие наряду с оловом такие легирующие элементы как цинк, свинец, фосфор, никель. Цинк добавляют для увеличения коррозионной стойкости бронзы в морской воде, а также для равномерного распределения тяжелого свинца в сплаве. К тому же

цинк дешевле олова и меди.

Многие сплавы на основе меди используются как материал для деталей и узлов судов, контактирующих с морской водой (гребные винты, детали судовых рулей, различные задвижки и клапаны), благодаря высокой коррозионной стойкости в морской воде. Важными и дорогостоящими деталями являются валы и гребные винты, выполненные из бронз, Во время эксплуатации бронзовых гребных винтов, лопасти винта страдают от коррозии и эрозии материала. Коррозия лопасти достигает 20 мм в глубину, при этом глубина проникновения коррозии всегда выше в местах ремонтной наплавки, а также зоне термического влияния вследствие сварочных напряжений, образующихся в ходе ремонта. Использование метода лазерной порошковой наплавки для ремонта лопастей гребных винтов, теоретически позволит избежать повешенной коррозионной активности в зоне ремонта, а также увеличить срок службы лопастей за счет увеличения коррозионной стойкости и твердости покрытия, что снизит эрозию материала [3].

Для получения покрытий методом прямого лазерного нанесения использовалось коаксиальное сопло, перемещения которого осуществлялись с помощью робота. Для осуществления оплавления порошкового материала использовался иттербиевый волоконный лазер с длиной волны 1070 нм. В качестве газа для транспортировки порошкового материала использовался аргон, с расходом 3 л/мин, а расход дополнительного газа для формирования газопорошкового потока составил 5 л/мин. Фокусировка лазерного луча осуществлялась на поверхности подложки, в то время как рабочее расстояние между соплом и подложкой оставалось постоянным и составляло 5 мм. Расход порошкового материала составил 5 г/мин.

Для анализа микроструктуры получаемых образцов использовался оптический микроскоп Axio Observer D1m Carl Zeiss с программным обеспечением Tixomet. Образцы, перед анализом последовательно шлифовались набором алмазных шлифовальных дисков (120 grit, 220 grit, 500 grit) и полировались с использованием алмазных суспензий (9 мкм, 3 мкм). Травление проводилось в подготовленном реактиве азотной кислоты.

Бронзовый порошок ПР-БрО10 – порошок, в химический со-

став которого входит не только медь, которая составляет основу, но и примерно 10 % олова. Данный порошок обладает хорошей прессуемостью. Насыпная плотность порошка составляет 3,5–4,5 г/см^3.

Для исследования покрытий из бронзы полученных методом лазерной порошковой наплавки, были изготовлены образцы наплавленного покрытия при помощи комплекса лазерной порошковой наплавки, оснащенного волоконным лазером и коаксиальной подачей порошкового материала в среде аргона.

На рисунке 1 представлены микрофотографии наплавленного валика оловянистой бронзы. Как видно из микрофотографии лазерная наплавка была осуществлена с перемешиванием наплавляемого металла с металлом основы.

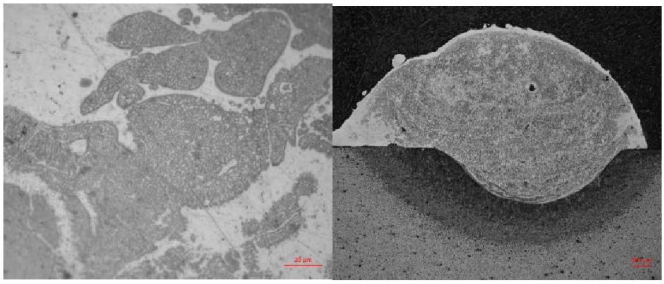


Рис. 1. Вид наплавленного металла ПР-Бро10

В случае применение ультразвуковой обработки происходит формирование наплавочного валика без перемешивания металла основы с наплавляемой поверхностью (рис. 2).

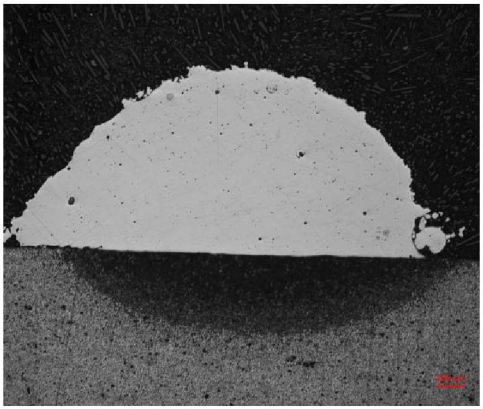


Рис. 2. Вид наплавленного металла
с дополнительной ультразвуковой обработкой

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (Задание №9.3236.2017/ПЧ), при частичной поддержке Министерства образования и науки РФ по Постановлению № 14.z50.31.0023 и частичной финансовой поддержке РФФИ, 14-29-10281 офи_м.

Список литературы:

1. *Gorunov A.I., Gilmutdinov A.Kh. S*tudy of the effect of heat treatment on the structure and properties of the specimens obtained by the method of direct metal deposition // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. October 2016. Volume 86. Issue 9. pp. 2567–2574.

2. *Gorunov A.I., Gilmutdinov A.Kh.* Investigation of coatings of austenitic steels produced by supersonic laser deposition // Optics & Laser Technology. Volume 88. February 2017. P. 157–160.

3. *Косовец А.С., Кондриков Н.Б.* Восстановление бронзовых деталей методом лазерной порошковой наплавки и оценка коррозии получаемого покрытия // Молодой ученый. – 2017. – № 16. – С. 120–124.

STUDY OF THE INFLUENCE OF ULTRASOUND

ON THE FORMATION OF TIN BRONZE COATINGS IN THE COURSE OF LASER SURFACING

Gorunov A., Zimin A., Gaysina A.
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The paper presents the results of welding tin bronze on a substrate of carbon steel. It is shown that additional ultrasonic treatment allows for surfacing without mixing the weld metal with the substrate metal.

УДК 621.791.92:669.245

ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ОЛОВЯНИСТЫХ БРОНЗ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО НАНЕСЕНИЯ

Горунов А.И., Зимин А.Г., Измаилов И.И.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань)

В работе показана возможность прямого лазерного нанесения оловянистой бронзы на стальную подложку. Установлено, что в случае появления трещин на границе сплавления происходит их залечивание наплавляемым металлом.

Метод лазерной наплавки является одним из перспективных методов восстановления изделий из сплавов. Данный метод заключается в формировании ванны расплава на поверхности обрабатываемого металла путем воздействия лазерного луча с одновременным добавлением в ванну расплава присадочного порошкового материала.

Для нанесения покрытия и оловянистой бронзы на подложку из углеродистой стали применялось сопло с коаксиальной подачей присадочного порошкового материала. В качестве источника подводимой энергии использовался волоконный лазер с длиной волны 1064 нм. Максимальная мощность лазерного излучения составила 10 кВт.

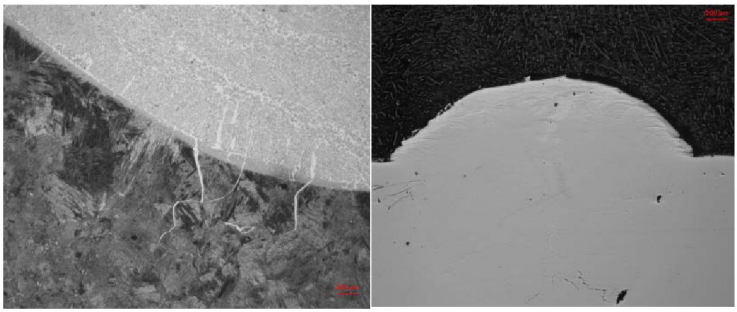


Рис. 1 Вид наплавленного металла

На рисунке 1 представлены микрофотографии наплавленного металла на основе оловянистой бронзы. В процессе лазерной наплавки происходит растрескивание стальной подложки, Однако на микрофотографии можно видеть, что наплавляемый материал заполняет сформированные трещины.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (Задание №9.3236.2017/ПЧ), при частичной поддержке Министерства образования и науки РФ по Постановлению № 14.z50.31.0023 и частичной финансовой поддержке РФФИ, 14-29-10281 офи_м.

Список литературы

4. *Gorunov A.I., Gilmutdinov A.Kh.* Study of the effect of heat treatment on the structure and properties of the specimens obtained by the method of direct metal deposition // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. October 2016. Volume 86. Issue 9. pp. 2567–2574.

5. *Gorunov A.I., Gilmutdinov A.Kh.* Investigation of coatings of austenitic steels produced by supersonic laser deposition // Optics & Laser Technology. Volume 88. February 2017. P. 157–160.

6. *Горунов А.И.* (RU) Программа управления процессом выращивания металлических изделий аддитивным методом на установке лазерной наплавки. Программа для ЭВМ: № 2016660262, 20.10.2016.

УДК 537.5

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДНОГО ПОРОШКА С ЖИДКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Зарипов И.М., Белавин А.Ю., Гарифуллин Б.И.
Научный руководитель: Р.Р. Каюмов
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, Казань)

Современное производство развивается в направлении создания малоотходных и безотходных технологий. Обработка металлов резанием – один из основных способов изготовления деталей – экономически невыгодна, т.к. 60 % металла и более теряются. Метод порошковой металлургии позволяет снизить отходы до 10 %.

Суть метода состоит в получении порошка металла одним из известных способов: механическим, физико-химическим или смешанным, с последующим спеканием детали в заранее изготовленных формах с минимальными допусками.

Одним из широко используемых металлов в порошковой металлургии является медь. Порошки меди в сварочной технике применяют для наплавки, спецрезки, изготовления обмазок. В машиностроении и приборостроении, автомобилестроении и других отраслях промышленности медные порошки используют для изготовления износостойких деталей машин и механизмов, изделий с высоко- или антифрикционными свойствами, например – щетки электрических двигателей, фильтры тонкой очистки масел и многое другое. Автомобили содержат до 50 % деталей, выполненных при спекании порошков; при изготовлении счетных, швейных, пишущих машин требуется до 20 % спеченных изделий; 30 % подшипников изготавливают методами порошковой металлургии.

Разработанном устройстве удается получить порошок из меди при атмосферном давлении. Устройство получения порошка из меди заключается в том, что разряд горит между струйным электролитическим катодом, где находится распыляемый материал (медь марки М1) и электролитическим анодом устанавливаем ток в

диапазоне 0,2÷2 А длина струи поддерживается в пределе l_c=1÷5 мм.

Микроскопические исследования порошка с помощью микроскопа ММР-2Р позволили сделать фотографии частиц порошка собираемых в электролитической ванне. В зависимости от режима и условий можно получить порошок определенного диаметра. При получении порошка из меди использовали электролит из водных растворов солей NaCl или $CuSO_4$. Причем существенное значение имеет проводимость электролита. С увеличением его проводимости облегчается режим получения порошка. Полученный в разряде порошок в основном состоит из частиц круглой формы. Формы синтезируемых частиц порошка обусловлены силами поверхностного натяжения при отрыве их от распыляемого материала и падении в электролит. Быстрое охлаждения частиц в струе электролита способствует сохранению формы порошка.

Список литературы

1. portal.tpu.ru:7777/SHARED/v/VAKARELIN/Work/.../Электролиз%20меди_1.doc

2. *Галимов И.А., Ахатов М.Ф., Каюмов Р.Р., Гайсин А.Ф.* Модификация пластин свинцово-кислотных аккумуляторов для увеличения срока службы. В сборнике: Инновационные технологии XXI века материалы Международной научно-практической конференции. Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. 2015. С. 232–234.

SOME FEATURES OF OBTAINING A COPPER POWDER WITH LIQUID ELECTRODES

Zaripov I., Belavin A., Garifullin B.
Scientific adviser: R. Kayumov
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Modern production is developing in the direction of creating low-waste and non-waste technologies. Processing of metals by cutting – one of the main ways of manufacturing parts – is economically unprofitable, because 60 % of metal and more are lost. The powder metallurgy method allows to reduce waste up to 10 %.

УДК 621.791.725

ЛАЗЕРНАЯ И ЛАЗЕРНО-ДУГОВАЯ СВАРКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Колесников Д.Н., Гирфанова А.Г.
Научный руководитель: С.В. Курынцев, канд. экон. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Данная статья посвящена обзору публикаций на тему лазерных технологий обработки авиационных алюминиевых сплавов. Данная тематика является весьма актуальной в связи с развитием промышленных отраслей, в том числе и авиационной, где широко применяются алюминиевые сплавы.

В настоящее время внедрение промышленных лазерных технологий на отечественных предприятиях осложнено. Связанно это с несколькими факторами: отсутствие молодых специалистов, отсутствие нормативной документации. В течение последних лет, работ по лазерной резке, в особенности, по алюминиевым сплавам, было опубликовано не много. Наиболее актуальной является работа [1], в которой описаны исследования по лазерной резке листов из алюминиевых сплавов 1163 и В95 с толщиной 1.2, 2, 4 мм, для резки использовали установку марки Bystronic Bystar 4020 на основе CO_2-лазера. Скорость резки варьировалась в диапазоне 1000–9000 мм/мин. Для сплава 1163, толщиной 4 мм характерна мелкозернистая структура в зоне термического влияния (ЗТВ) на глубине 20–50 мкм. При увеличении скорости резки (2000 мм/мин до 9000 мм/мин) ЗТВ уменьшается с 270 мкм до 80 мкм. Авторы делают вывод, что скорость лазерной резки алюминиевых сплавов следует выбирать с учётом двух противоположных условий – минимизации ЗТВ и формирования наиболее просто удаляемого грата [2].

Также очень мало работ по лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварке приведено в ведущих отечественных журналах, и тем не менее, некоторые из опубликованных исследований пред-

ставляют большой интерес и соответствуют международному уровню данного направления.

В работе [3] представлены результаты сравнения микроплазменной, лазерной (CO_2-лазер) и гибридной лазерно-микроплазменной сварки алюминиево-магниевого сплава. В работах [4–6] приведены итоги изучения сварных соединений, полученных лазерной или гибридной лазерно-дуговой сваркой с использованием волоконных лазеров. Так, авторами [4] исследуется влияние положения плавящегося электрода относительно направления сварки, при гибридной лазерно-дуговой сварке алюминиевого сплава 1424 толщиной 4 мм. Исследователи [5] рассматривают влияние подачи присадочной проволоки при лазерной сварке, перед лазерным лучом или после, при сварке высокопрочных алюминиево-литиевых сплавов 1469 и 1461. В работе [6] представлены результаты исследований влияния присадочных материалов легированных редкоземельными металлами на качество сварных соединений из сплавов 1461 и 1469, полученных лазерной сваркой. Авторы заключают, что при применении данных присадочных материалов и полной термической обработке, можно получить механические свойства металла сварного шва, сравнимые со свойствами основного металла. В работе [7] также представлены результаты изучения сварных соединений из разных алюминиево-литиевых сплавов, полученных одновременной двухсторонней лазерной сваркой с применением присадочных материалов двух типов (Al-6.2Cu-5.4Si и Al-12Si). Принципиальная схема осуществления процесса представлена на рисунке 1.

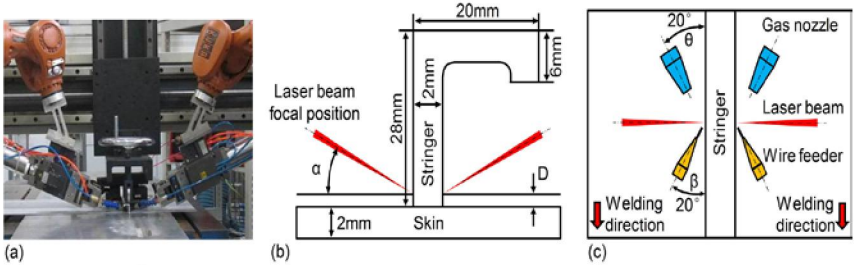


Рис. 1. Схема одновременной двухсторонней лазерной сварки

Скорость сварки составляет 10 м/мин, мощность лазерного излучения 3 кВт, скорость подачи присадочного материала 4.3 м/мин. На рисунке представлен внешний вид сварных соединений, полученных с применением разных присадочных материалов.

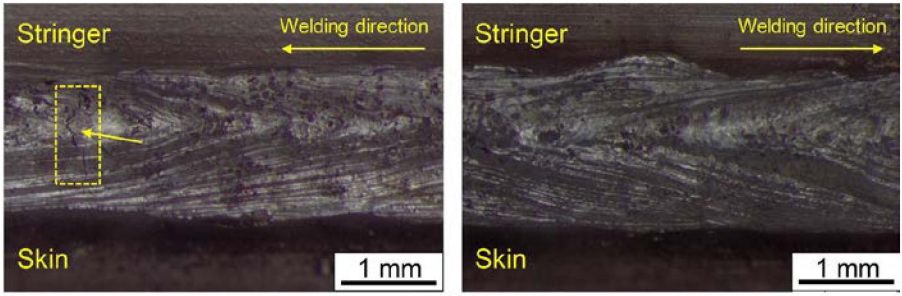


Рисунок 2. Внешний вид сварных соединений

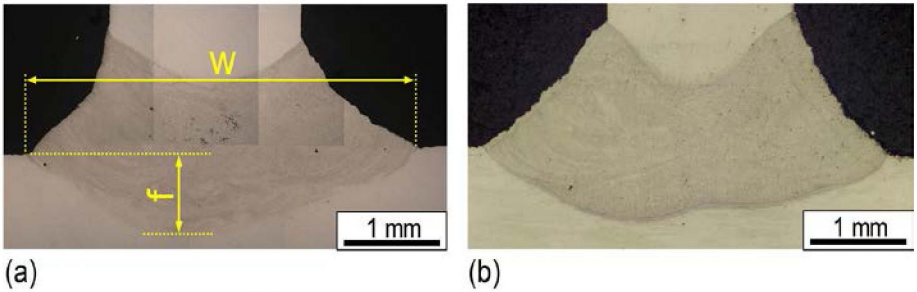


Рис. 3. Микроструктура сварных соединений

Рис. 4. Рентгеновский неразрушающий

контроль сварных соединений

Актуальность подготовки специалистов и разработки нормативных документов несомненна, так как лазерная сварка и резка позволяет обрабатывать материалы на очень высоких скоростях до 10 метров в минуту и выше.

Список литературы:

1. *Физулаков Р.А., Муравьев В.И., Пицык В.С.* Оценка качества газолазерного раскроя листов из алюминиевых сплавов. Металловедение и термическая обработка металлов. 2016;3;22-27.

2. *Степанова М.А.* Выбор газа для лазерной резки металлов. Лазерное оборудование, 52–54.

3. *Оришич А.М., Маликов А.Г., Шелягин В.Д., Хаскин В.Ю., Чайка А.А.* Оптимизация процессов лазерной, микроплазменной и гибридной лазерномикроплазменной сварки алюминиевых сплавов. Сварочное производство, 2015;12;26-31.

4. *Шиганов И.Н., Мисюров А.И., Трушников А.Н., Холопов А.А., Блинков В.В.* Гибридная лазерно-дуговая сварка алюминиевых сплавов. Сварочное производство 2016;1;26-29.

5. *Шиганов И.Н., Холопов А.А., Трушников А.В., Иода Е.Н., Пантелеев М.Д., Скупов А.А.* Лазерная сварка высокопрочных алюминий-литиевых сплавов с присадочной проволокой. Сварочное производство 2016;6;44-50.

6. *Каблов Е.Н., Лукин В.И., Антипов В.В., Иода Е.Н., Пантелеев М.Д., Скупов А.А.* Эффективность применения присадочных материалов при лазерной сварке высокопрочных алюминий-литиевых сплавов. Сварочное производство 2016;10;17-21.

7. *Bing Han, Wang Tao, Yanbin Chen, Hao Li* Double-sided laser beam welded T-joints for aluminum-lithium alloy aircraft fuselage panels: Effects of filler elements on microstructure and mechanical properties Optics and Laser Technology 93 (2017) 99–108

Представленное исследование выполнено при поддержке Министерства Образования и Науки Российской Федерации в соответствии с постановлением 220, контракт № 14z50.31.0023.

LASER AND LASER-ARC WELDING OF ALUMINUM ALLOYS

Kolesnikov D.,Girfanova A.
Supervisor: S. Kuryntsev, cand. econ. sciences, associate professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

This article is devoted to a review of publications on the topic of laser technologies for processing aviation aluminum alloys. This topic is very relevant in connection with the development of industrial industries, including aviation, where aluminum alloys are widely used.

УДК 621.002:621.317.7-52

МЕТОД МОНТАЖА ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПОДОШВЫ КИЛЯ САМОЛЕТА ОТНОСИТЕЛЬНО РАБОЧЕЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ СТАНКА С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОЙ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Комкова М.А.
Научный руководитель: П.Л. Людоговский, канд. техн. наук доцент
(КАЗ им. С.П. Горбунова – филиал ПАО «Туполев», г. Казань)

Рассматривается метод измерений геометрических параметров изделий применяемый при монтаже приспособления с использованием программных координатно-измерительных систем. Даны определения требуемых параметров и процедур измерений.

Метод измерения, лазерный трекер, изделие, измерения.

С целью расширения области эффективного применения лазерных координатно-измерительных систем (ЛКИС) на базе лазерного трекера при производстве и контроле изделий необходима разработка и внедрение методов измерений.

Метод измерений основан на процессе позиционирования опорной системы координат с помощью электронного уровня лазерного трекера и двум установочным точкам расположенным параллельно рабочей вертикальной плоскости станка. Данный метод выходит из методики «Вход в ОСК ЭМИ с помощью электронного уровня лазерного трекера и двум УТ на поверхности изделия или поверхности для его установки» [1].

Для описания и реализации требуемых измерений необходимо ввести терминологию и определения:

1. Электронная модель изделия (ЭМИ) – электронная модель детали или сборочной единицы по ГОСТ 2.102.

2. Система координат трекера (СКТ) – декартовая СК $0_T X_T Y_T Z_T$, которая является рабочей СК на момент добавления новой позиции трекера в координатное пространство, определяемое его программным обеспечением (ПО).

3. Опорная система координат (ОСК) ЭМИ – декартова система координат $0_{on}X_{on}Y_{on}Z_{on}$ в которой выполняются все требуемые измерения.

4. Установочная система координат (УСК) изделия – декартовая СК $0_yX_yY_yZ_y$, являющаяся вспомогательной СК для позиционирования ОСК ЭМИ при выполнении необходимых измерений.

5. Установочная точка (УТ) – точка на поверхности установочного блока.

6. БО – отверстие, обозначенное конструктором при проектировании приспособления в его жестких элементах относительно ОСК ЭМИ.

7. Базовая точка (БТ) – точка на пересечении оси БО и базовой плоскости *N* (рис. 1).

8. Плоскость электронного уровня лазерного трекера – плоскость, определяемая с помощью электронного уровня лазерного трекера.

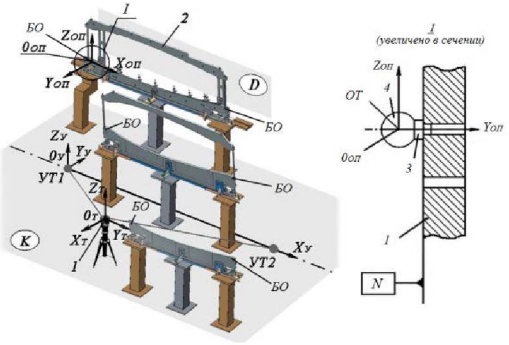


Рис. 1. Схемы расположения систем координат в пространстве приспособления для фрезерования подошвы киля:
а – приспособление с ОСК ЭМИ, УСК изделия и СКТ;
б – чертеж сечения ложемента приспособления с элементами ЛКИС:
1 – лазерный трекер; *2* – приспособление; *3* – магнитная подставка;
4 – SMR-отражатель; *K* – плоскость пола;
D – рабочая вертикальная плоскость станка

Рассмотрим основные этапы реализации данной задачи:

1) определение рабочей вертикальной плоскости станка;

2) позиционирование опорной системы координат ЭМИ;

3) проведение монтажно-проверочных работ приспособления для фрезерования подошвы киля (ПФПК).

На первом этапе выполняется определение рабочей вертикальной плоскости станка с помощью измерений координат точек в СКТ во время перемещения пиноли станка *1* с инструментом *2*, к которому жестко крепится магнитная подставка *3* с SMR-отражателем *4*, центр которого материализует эти точки в ПО ЛКИС (рис. 2).

Рис. 2. Фрезерный станок

Перемещение пиноли станка с последующими измерениями выполняется на трёх уровнях. Далее по полученным координатам с помощью соответствующих функций ПО ЛКИС строится усреднённая плоскость, которая является рабочей вертикальной плоскостью станка (РВПС). Для объективного и наглядного анализа в ПО ЛКИС создается цветовая карта со значениями фактических отклонений координат точек относительно РВПС (рис. 3).

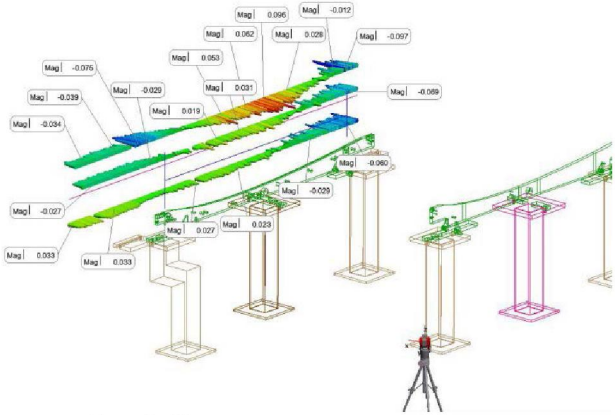
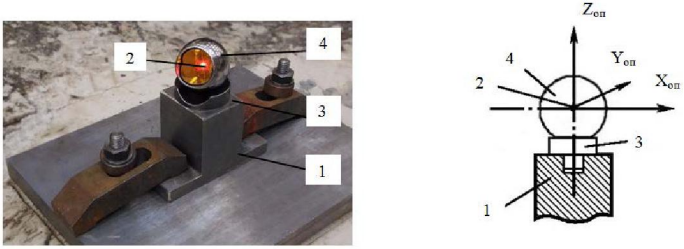


Рис. 3. Цветовая карта со значениями
фактических отклонений координат точек относительно
рабочей вертикальной плоскости станка

На втором этапе выполняется позиционирование ОСК ЭМИ – необходимое условие для выполнения измерений с помощью ЛКИС в процессе монтажа и проверки ПФПК.

Для позиционирования ОСК ЭМИ применяются два установочных блока (рис. 4), которые монтируются параллельно РВПС с помощью функционалов программного управления «SpatialAnalyzer» ЛКИС (рис. 5).



а б

Рис. 4. Установочный блок:
а – фото установочного блока; б – чертеж сечения
установочного блока с элементами ЛКИС:
1 – установочный блок; 2 – установочная точка;

3 – магнитная подставка; 4 – SMR-отражатель

Далее лазерным трекером измеряются координаты УТ, которые в процессе измерений фиксируются в ПО ЛКИС. Далее выполняется построение УСК изделия $0_yX_yY_yZ_y$, для чего выбирается плоскость электронного уровня лазерного трекера *B*, нормаль к которой и задает направление оси O_yZ_y. Затем в ПО назначается начало координат УСК изделия в *УТ* и определяется направление оси O_yX_y УСК изделия через *УТ2* в ПО ЛКИС. Таким образом, ось O_yX_y УСК изделия становится проекцией отрезка *УТ1 – УТ2* на плоскость электронного уровня лазерного трекера. После чего производится копирование УСК изделия с последующим определением её местоположения и направления осей в координатном пространстве ПО ЛКИС согласно конструкторской документации. Построенная таким образом УСК изделия соответствует по местоположению и направлению осей ОСК ЭМИ, в которой и будут производиться дальнейшие измерения.

Для объективности построений в ПО ЛКИС выполняется измерение угла между РВПС и плоскостью $X_{on}0_{on}Z_{on}$, значение которого равно 0,0015°.

При реализации этого метода УТ должны быть разнесены и находиться в зоне видимости лазерного трекера.

На третьем этапе данного метода выполняется монтаж ПФПК.

ПФПК предназначено для жесткой фиксации киля самолета в требуемом положении в процессе фрезерования подошвы киля. ПФПК самолета состоит из трех блоков, которые представляют собой ложементы, установленные на тумбы. В каждом ложементе ПФПК заложены БО для монтажа его в координатном пространстве ПО ЛКИС. Далее выполняется монтаж приспособления с помощью отслеживания фактических отклонений координат ОТ относительно ОСК ЭМИ в ПО ЛКИС.

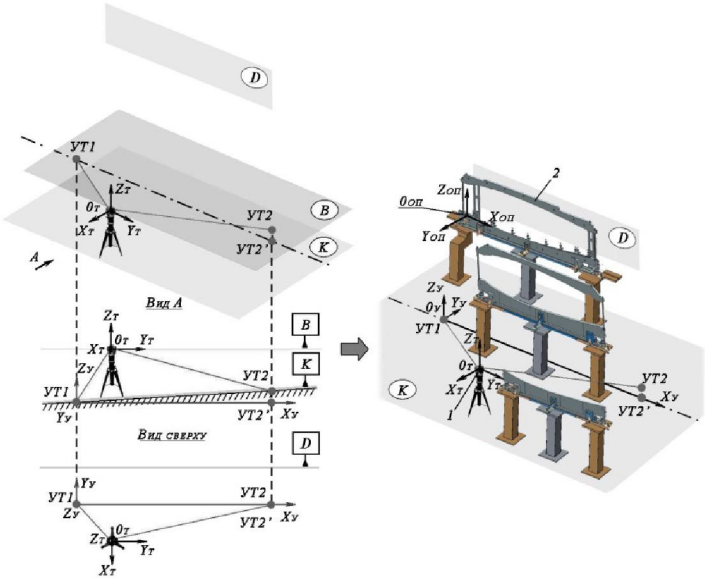


Рис. 5. Схема выставления и монтажа приспособления
для фрезерования подошвы киля:
1 – лазерный трекер; *2* – приспособление:
B – плоскость электронного уровня лазерного трекера

Преимущества применения этого метода измерений заключаются в возможности проведения проверочных измерений традиционными методами с помощью нивелира и других измерительных средств [2].

Список литературы

1. *Людоговский П.Л., Комкова М.А.* Методы измерений геометрических параметров изделий с помощью лазерных координатно-измерительных систем в современных машиностроительных производствах // Авиационная техника, г. Москва, 2016. № 4. С. 165-168.

2. *Людоговский П.Л., Лёвина М.А.* Лазерные измерительные системы в технологиях машиностроения и авиастроения // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и

материалы: Материалы международной науч.-техн. конф., г. Казань, 3–5 дек. 2014. Казань: АО «КНИАТ», 2014. – С. 267–270.

A METHOD OF MOUNTING THE ADAPTATION FOR THE SETTLEMENT THE SOLE OF AIRCRAFT' KEEL WORKING RELATIVE TO A VERTICAL PLANE OF A MACHINE BY THE LASER COORDINATE MEASURING SYSTEM

Komkova M.
Supervisor: P. Lyudogovskii,
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
(KAP named after S.P. Gorbunov –
the branch of PAO «Tupolev», Kazan)

Method for Measuring the Geometric Parameters of Products at mounting the adaptation by the Laser Coordinate Measuring System. The required parameters and measurement procedures are defined.

УДК 629.735.45

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

***Крылов Д.В.*[1]**
Научный руководитель: Неделько Д.В.[1], докт. техн. наук,
Алимов С.А.[2], канд. техн. наук
([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
[2]Казанский вертолетный завод, г. Казань)

Выполнен обзор способа изготовления элемента системы управления рулевым винтом вертолета с применением аддитивной технологии. Показано сравнение результатов усталостных испытаний данного элемента, изготовленного по традиционной технологии и с применением аддитивной технологии. Определены перспективы уменьшения массы данного элемента по результатам расчета с применением метода конечных элементов.

Одним из основных требований, предъявляемых к авиационным конструкциям, является снижение веса при сохранении несущей способности и потребного ресурса.

Традиционные технологии изготовления авиационных конструкций, основанные на механической обработке, ограничены возможностями оборудования в части подхода режущего инструмента к заготовке. Одним из перспективных направлений изготовления конструкций из металлических материалов является технология послойного лазерного спекания металлического порошка, так называемая аддитивная технология.

В 2015 году ПАО «Казанский вертолетный завод» назначен ведущим предприятием по внедрению аддитивных технологий в холдинге «Вертолеты России». С целью анализа возможности изготовления ответственных деталей с применением аддитивных технологий было принято решение изготовить по данной технологии элемент системы управления рулевого винта вертолета из алюминиевого сплава AlSi10Mg.

На рисунке 1 показана визуализация изготовленной детали с поддерживающей структурой (выделено красным цветом), которая необходима для создания детали в рабочей камере ограниченного объема [1].

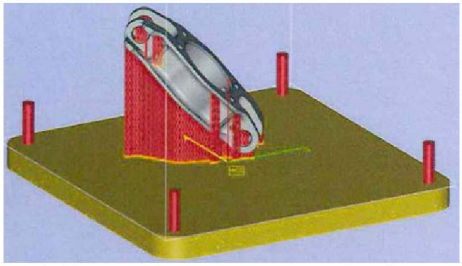


Рис. 1. Визуализация изготовленной детали

На рисунке 2 представлены фотографии изготовленной детали после удаления поддерживающей структуры. Дальнейшая механическая обработка позволяет доработать в имеющейся детали поверхности сопряжения (плоскости, отерстия) с требуемой точностью при минимальной потере материала.

Рис. 2. Готовая деталь до механической обработки

Для оценки усталостной прочности изготовленной детали в

ПАО «Казанский вертолетный завод» были проведены ресурсные испытания по программе периодических испытаний, предназначенной для проведения испытаний типовой конструкции.

Деталь, изготовленная по аддитивной технологии, проходила ресурсные испытания в составе испытательного образца, состоящего из деталей, изготовленных по традиционной технологии (механическая обработка). Испытательный образец выдержал весь объем испытаний, предусмотренных программой, без разрушений.

Для оценки возможности снижения массы детали была построена конечно-элементная модель, представленная на рисунке 3. Закрепление конечно-элементной модели было выполнено аналогично закреплению детали в конструкции стенда для ресурсных испытаний. Направление и величины нагрузок, прикладывамых к конструкции, взяты из программы периодических испытаний. Расчет выполнялся с применением пакета программ NX Advanced Simulation.

Рис. 3. Конечно-элементная модель

По результатам расчета получено распределение эквивалентных напряжений в рассматриваемой детали (см. рисунок 4) от действия нагрузок, соответствующих первому режиму испытаний.

Учитывая величину предела прочности алюминиевого сплава AlSi10Mg ($\sigma_в$ = 397±11 МПа) и величину действующих напряжений (σ = 24,6 МПа, см. рисунок 4), то появляется возможность снижения массы детали с сохранением ее несущей способности и ресурсных характеристик. Общий вид детали, построенной с применением биодизайна, с уменьшенной более чем в два раза массой, представлен на рисунке 5 [2].

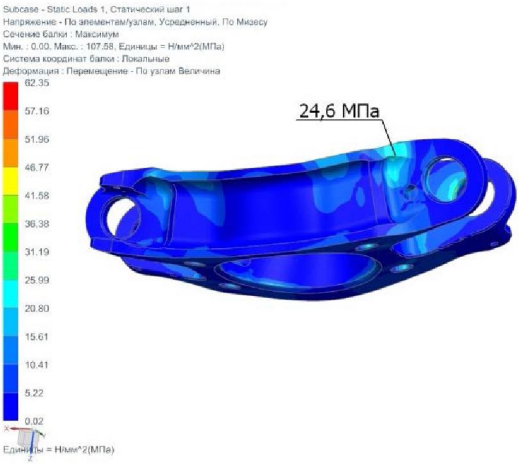


Рис. 4. Напряженно деформированное состояние детали

Рис. 5. Пример оптимизации детали на основе биодизайна

Список литературы

1. SLM Solution, Part production report № FB-70a – rev. 1 from 17.03.2016.

2. Иннопром. [Электронный ресурс]. М., 2010-2017. URL: http://www.innoprom.com (Дата обращения: 14.05.2017).

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE MANUFACTURE OF AVIATION STRUCTURES

***Krylov D.*[1]**
Supervisor: Nedel'ko D.[1], Dr. Techn. Sc.,
Alimov S.[2], Cand. Techn. Sc.
([1]Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev, [2]Kazan helicopter plant, Kazan)

An overview is given of the method of manufacturing an element of the helicopter helix control system using additive technology. Comparison of the results of fatigue tests of this element made according to traditional technology and using additive technology is shown. The prospects for reducing the mass of this element based on the results of calculations using the finite element method are determined.

УДК 533.9.072

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА С ПОРИСТЫМ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ АНОДОМ

Леушка М.А.
Научный руководитель: Ал.Ф. Гайсин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Пористые материалы активно применяют для очистки жидкостей в нефтяной, газовой и других отраслях промышленности. Для очистки пористых фильтров, а также для теоретического изучения электрического разряда данной конфигурации предлагается применить электролитно-плазменную обработку образца.

В ходе работы для воздействия на фильтр и генерации плазмы пористый материал подключали к положительному источнику постоянного тока. Целью данной работы является экспериментальное исследование электрического разряда между струйным катодом и пористым металлическим анодом при атмосферном давлении для различных режимов источника питания. Экспериментальная установка состоит из источника питания, измерительной аппаратуры, электролитической ванны и стеклянного сосуда, соединенного с полимерной трубкой. С помощью медного провода подводится отрицательный потенциал к стеклянному сосуду, а к пористому металлу подводится положительный потенциал от источника питания.

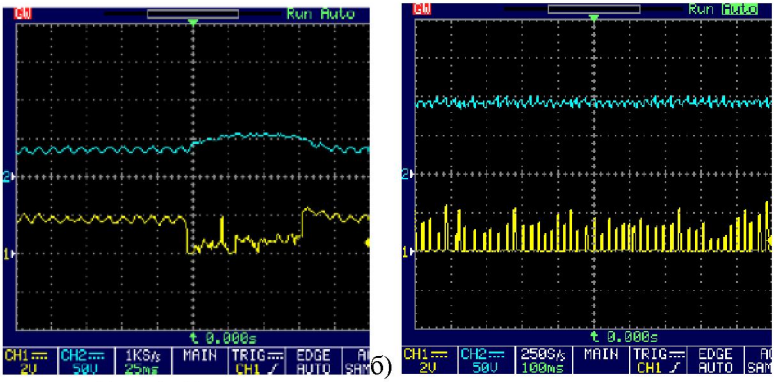


Рис. 1. Осциллограммы электрического разряда
между пористым анодом и жидким катодом

В экспериментах для изучения формы и развития электрического разряда между струйным катодом и жидким электродом использована цифровая фотокамера Sony HDR-SR72E. Колебания напряжения и тока наблюдали на экране цифрового осциллографа GDS-806S, подключенного к монитору компьютера. Цена деления шкалы для напряжения – 500 В, для тока – 2 А. В качестве электролита использован 20 % раствор NaCI в технической воде.

На рисунке 1 видны показания осциллографа во время горения разряда при третьем и четвёртом режиме (напряжение 500 и 800 В соответственно). Из анализа осциллограмм следует, что разряд изначально возникает на поверхности пористого анода, а затем развивается вдоль струйного электролитического катода. Характер происходящих физических процессов можно установить, исходя из анализа пульсаций напряжения и тока разряда. Пробой межэлектродного промежутка происходит при втором режиме (напряжение порядка 300 В). Как видно из рис. 2*б*, в третьем режиме разряд горит с модуляцией синусоидальными колебаниями амплитудой 200 мА. Это колебания обусловлены пористой морфологии поверхности металлического анода. Первый пробой не приводит к развитию стабильного разряда, а следующий пробой устанавливает стабильный режим горения ЭР. С дальнейшим ростом напряжения источника питания от 300 до 1000 В происходит распыление по-

верхности пористого металлического анода.

После обработки мы получили изображение поверхности образца (металловолокнистый материал) с помощью конфокального лазерного сканирующего микроскопа LEXT OLS4000. Снимки показали различие в структуре образца, профилометрические данные говорят о повышении твёрдости обрабатываемого материала. Отметим удаление заусенцев и загрязнений с поверхности материала образца.

Список литературы

1. Электрические разряды постоянного и высокочастотного тока с проточными и непроточными электролитическими электродами в процессах модификации материалов и изделий при пониженных давлениях [Текст] : монография / Ал. Ф. Гайсин, И. Ш. Абдуллин ; Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Казанский нац. исслед. технологический ун-т", "Казанский нац. исслед. технический ун-т им. А. Н. Туполева-КАИ". – Казань : Изд-во КНИТУ, 2013. – 186 с. : ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-7882-1-582-2

2. *Коллинз Р.* Течения жидкостей через пористые материалы. Пер. с англ. под ред. Г. И. Баренблатта. М.: Мир, 1964. 352 с.

3. *Леонтьев Н. Е.* Основы теории фильтрации. М.: Изд-во ЦПИ при механико-математическом факультете МГУ, 2009. 88 с.

THE RESEARCH OF ELECTRICAL DISCHARGE WITH POROUS METAL ANODE

Leushka M.
Supervisor: Al. Gaysin, PhD
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Porous materials are actually used in petroleum, gas and other industries for water purification. In this work we aim to study plasma processing of porous sample to find out discharge kinetics and plasma impact on solid surface characteristics.

УДК 621.9.048.4

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РАЗРЯДАМИ

Лукьянов С.А., Ахатов М.Ф.
Научный руководитель: Р.Р. Каюмов
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань)

Приведена информация о электрических разрядах. Выявлены достоинства и недостатки каждого метода. Сформулирован вывод.

Электрический разряд – процесс протекания электрического тока, связанный со значительным увеличением электропроводимости среды относительно её нормального состояния.

Увеличение электропроводности обеспечивается наличием дополнительных свободных носителей заряда. Электрические разряды можно разделить на:

Несамостоятельный разряд – разряд, протекающий за счёт внешнего ионизатора.

1. Самостоятельный разряд – разряд, который будет продолжать гореть и после отключения внешнего ионизатора.

2. Переход от несамостоятельного разряда к самостоятельному называется электрическим пробоем [1].

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД В ЖИДКОСТИ

Электрогидравлический эффект представляет собой высоковольтный электрический разряд в жидкой среде. При формировании электрического разряда в жидкости выделение энергии происходит в течении достаточно короткого промежутка времени. Мощный высоковольтный электрический импульс с крутым передним фронтом вызывает различные физические явления. Такие как появление сверхвысоких импульсных гидравлических давлений, электромагнитное излучение в широком спектре частот вплоть, при определенных условиях, до рентгеновского, кавитационные явления. Указанные факторы оказывают на жидкость и помещенные в нее тела различные физико-химические воздействия [2].

Для заряда накопительного конденсатора, используется напряжение до 100 кВ.

Юткин предложил разграничение трех режимов работы электрогидравлических установок в зависимости от напряжения и емкости накопительного конденсатора:

1. мягкий, напряжение меньше 20кВ, емкость больше 1 мкф;
2. средний, напряжение больше 20кВ, емкость меньше 1 мкф;
3. жесткий, напряжение больше 50кВ, емкость меньше 0,1 мкф.

Необходимо помнить, что энергия запасенная в электрическом конденсаторе прямо пропорциональна емкости этого конденсатора и прямо пропорциональна квадрату напряжения на конденсаторе.

$$E_{\text{кон}}=\frac{C*U^2}{2}\ [3]$$

Список литературы

1 *Энгель А., Штенбек М.* Физика и техника электрического разряда в газах, пер. с нем., т. 1–2, М. – Л., 1935-1936

2 Физика и техника низкотемпературной плазмы, под ред. С. В. Дресвина, М., 1972

3 *Райзер Ю. П,* Лазерная искра и распространение разрядов, М., 1974

PROCESSING OF METAL BY ELECTRIC DISCHARGES

Lukyanov S.
Scientific adviser: R. Kayumov
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The information on electrical is given. The advantages and disadvantages of each method are revealed. The conclusion is formulated.

УДК 536.491

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ С УЧЁТОМ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Мельников А.С.
Научный руководитель: И.В. Цивильский, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Предложен подход к моделированию динамики формы поверхности и температуры металлического образца в результате воздействия лазерного излучения. Модель предоставляет аналитические выражения для температуры и геометрии поверхности, в зависимости от времени, учитывает теплопроводность и поверхностное натяжение.

Введение

Лазерные технологии широко используются в промышленности благодаря высокой скорости обработки материалов и точности, достигаемой при изготовлении изделий. Ключевым фактором в лазерной обработке металлов является полностью контролируемый нагрев поверхности и объёма вещества, достигаемый за счёт управления: мощностью лазера, геометрическими размерами пучка излучения, скоростью движения лазера и т.д. Совместное влияние этих макроскопических факторов определяет скорость нагрева и фазовых переходов в образце, что, в свою очередь, существенно влияет на точность изготовления конечного изделия. Экспериментальные исследования процессов лазерной обработки не всегда оправданы ввиду существенных временных затрат, а также расхода тестовых материалов и использования ресурсов лазерного оборудования. Математическое моделирование подобных процессов, в свою очередь, для достижения требуемой точности требует крайне высокого разрешения вычислительной сетки, что сказывается на времени расчёта. Поэтому моделирование десятков или даже сотен образцов с разными начальными и граничными условиями приводит к существенным затратам вычислительных ресурсов. Современные математические модели лазерного воздействия на веще-

ство либо реализованы конечно-разностными методами [1] на детализированных расчётных сетках (и требуют значительное время на достижение результата), либо являются аналитическими, но довольно упрощёнными и не учитывают изменение формы поверхности в процессе плавления [2].

В данной работе предложен полуаналитический подход к моделированию скорости нагрева металла, объёмного распределения температуры и изменения формы обрабатываемой поверхности с учётом сил поверхностного натяжения при заданном воздействии лазерного излучения. Вводится ряд допущений: пренебрегается испарением вещества и конвективным теплообменом на поверхности.

Моделирование не требует предварительной дискретизации расчётной области и основано на аналитическом решении нестационарного уравнения теплопроводности. Часть интегралов вычислено с использованием численных методов. Отсутствие расчётной сетки позволяет находить решение с минимальным использованием вычислительных ресурсов, а погрешность результатов моделирования определяется только точностью определения интегралов. Разработанный подход позволяет проводить быстрое моделирование процесса нагрева и плавления образца лазером с предсказанием ожидаемой формы поверхности.

Аналитическое решение задачи нагрева металла

Материал образца – однородный и изотропный. В следующей таблице указаны входные параметры задачи.

Таблица 1

Основные параметры модели

Параметр	Наименование	Единицы измерения	Ограничения
b	Максимальная интенсивность лазера	Вт/м^2	
w	Ширина пучка	–	
C_{sol}	Удельная теплоёмкость твёрдого тела	Дж/(кг·К)	
C_{liq}	Удельная теплоёмкость жидкости	Дж/(кг·К)	

T_0	Начальная температура	К	
T_m	Температура плавления	К	$T_m > T_0$
T_b	Температура кипения	К	
λ	Удельная теплота плавления	Дж/кг	
θ	Угол смачивания	рад	$0 \le \theta \le \pi/2$
α	Коэффициент поглощения	–	
m_0	Масса точки (удельная плотность материала подложки)	кг	

Распределение интенсивности лазера на поверхности образца определяется гауссовым профилем:

$$L = L(x) = be^{-\frac{x^2}{w}}. \quad (1)$$

Найдём плотность светового потока $I = I(x)$ на поверхности $f = f(x,t)$. В зависимости от угла между нормалью n к поверхности и падающим лучом $r = \{0;1\}$ будет определяться доля поглощённой поверхностью энергии. Касательная к поверхности определяется вектором

$$tang = \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{df}{dx} \end{pmatrix}.$$

Тогда нормаль к поверхности:

$$n = R \cdot tang = \begin{pmatrix} cos\frac{\pi}{2} & -sin\frac{\pi}{2} \\ sin\frac{\pi}{2} & cos\frac{\pi}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{df}{dx} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{df}{dx} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{df}{dx} \\ 1 \end{pmatrix},$$

где R — матрица поворота.

Плотность светового потока на поверхности:

$$I = \alpha L \cdot \cos\angle(n,r),$$

$$\langle n,r\rangle = |n||r| \cdot \cos\angle(n,r) \;\Rightarrow\; \cos\angle(n,r) = \frac{n \cdot r}{|n||r|} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{df}{dx}\right)^2 + 1}},$$

$$I = \frac{\alpha L}{\sqrt{\left(\frac{df}{dx}\right)^2 + 1}} \quad (2)$$

Количество теплоты, полученное точкой поверхности за промежуток времени:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} I\,dt.$$

(3)Найдём температуру поверхности в зависимости от времени. Количество теплоты при нагревании вещества:

$$Q = cm\Delta T.$$

С учётом (3) получим

$$cm_0\Delta T = cm_0(T_2 - T_1) = \int_{t_1}^{t_2} I\,dt \;\Rightarrow\; T_2 = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I\,dt}{cm_0} + T_1.$$

С начального момента времени и до перехода в жидкую фазу форма поверхности $f(x,t)|_{t=0} = 0$. Тогда (2) приобретает вид:

$$I = \alpha L,$$

откуда

$$T_2 = \frac{\alpha L(t_2 - t_1)}{cm_0} + T_1.$$

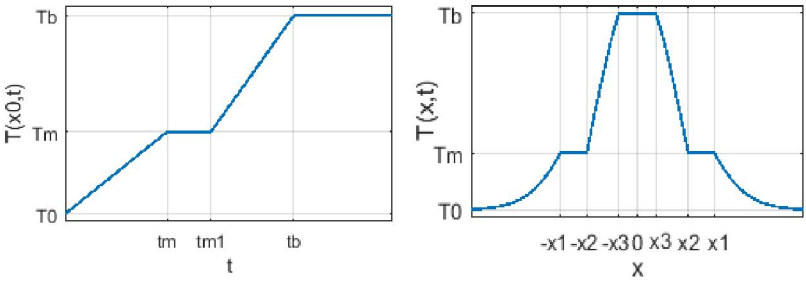
Таким образом, температура некоторой точки поверхности определяется как

$$T(x_0;t) = \begin{cases} \dfrac{\alpha L t}{c_{sol}m_0} + T_0,\ t < t_m, \\ T_m,\ t_m \le t < t_{m1}, \\ \dfrac{\alpha L}{c_{liq}m_0}\displaystyle\int_{t_{m1}}^{t} \frac{dt}{\sqrt{\left(\frac{df}{dx}\right)^2 + 1}} + T_m,\ t_{m1} \le t < t_b, \\ T_b,\ t \ge t_b, \end{cases} \quad (4)$$

где t_m — начальное время плавления в точке x, t_{m1} — конечное время плавления в точке x, t_b — начальное время испарения в точке x. Температура в зависимости от координаты:

$$T(x;t) = \begin{cases} \dfrac{\alpha L t}{c_{sol}m_0} + T_0,\ |x| \ge x_1, \\ T_m,\ |x| < x_1 \cap |x| \ge x_2, \\ \dfrac{\alpha L}{c_{liq}m_0}\displaystyle\int_{t_{m1}}^{t} \frac{dt}{\sqrt{\left(\frac{df}{dx}\right)^2 + 1}} + T_m,\ |x| < x_2 \cap |x| \ge x_3, \\ T_b,\ |x| < x_3, \end{cases} \quad (5)$$

Графики температуры (4) и (5) представлены на рисунке 1.



а *б*

Рис. 1. Графики фазовых переходов:
а – $T(0,t)$; б – $T(x,t>t_b)$

$$\frac{\alpha L t_m}{c_{sol} m_0} + T_0 = T_m \;\Rightarrow\; t = t_m(x_1) = \frac{c_{sol} m_0 (T_m - T_0)}{\alpha L} \;\Rightarrow$$

$$L = be^{-\frac{x_1^2}{w}} = \frac{c_{sol} m_0 (T_m - T_0)}{\alpha t} \;\Rightarrow$$

$$x_1 = \pm\sqrt{w \cdot \ln\left[\frac{\alpha b t}{c_{sol} m_0 (T_m - T_0)}\right]},$$

$$\int_{t_m}^{t_{m1}} I\, dt = \alpha L(t_{m1} - t_m) = \lambda m_0 \;\Rightarrow\; t = t_{m1}(x_2) =$$

$$= \frac{\lambda m_0}{\alpha L} + t_m = \frac{\lambda m_0 + c_{sol} m_0 (T_m - T_0)}{\alpha L} \;\Rightarrow\; L = be^{-\frac{x_2^2}{w}} =$$

$$= \frac{c_{sol} m_0 (T_m - T_0)}{\alpha t} \;\Rightarrow\; x_2 = \pm\sqrt{w \cdot \ln\left[\frac{\alpha b t}{\lambda m_0 + c_{sol} m_0 (T_m - T_0)}\right]}.$$

При $t \geq t_{m1}$ часть вещества перейдёт в жидкое состояние, и его объём увеличится. Рассмотрим частный случай капли расплава с углом смачивания $\theta = \pi/2$ в эллиптическом приближении:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & |x| \geq x_2 \\ h\sqrt{1 - \left(\frac{x}{x_2}\right)^2}, & |x| < x_2 \end{cases} \qquad (6)$$

Объём капли при этом определяется, как площадь половины эллипса:

$$V = S = \frac{\pi x_2 h}{2},$$

причём $V \sim T$.

$$S_{tr} = 2\left[\int_0^{x_2} T(x,t)\,dx - x_2 \cdot T_m\right],$$

$$S = k \cdot S_{tr} \Rightarrow h = 4k\frac{\int_0^{x_2} T(x,t)\,dx - x_2 \cdot T_m}{\pi x_2},$$

где k — коэффициент пропорциональности. Тогда система (6) примет вид:

$$f(x,t) = \begin{cases} 0, & |x| \geq x_2 \\ 4k\dfrac{\int_0^{x_2} T(x,t)\,dx - x_2 \cdot T_m}{\pi x_2} \cdot \sqrt{1 - \left(\dfrac{x}{x_2}\right)^2}, & |x| < x_2 \end{cases}$$

Интеграл в системе (7) вычисляется численными методами. На рисунке 2. Представлены результаты моделирования формы расплавленной поверхности металла подложки.

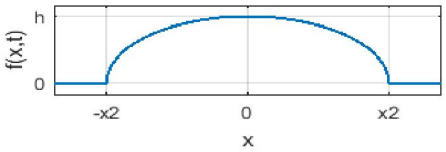


Рис. 2. Смоделированная форма расплавленной поверхности

Для произвольного угла θ:

$$y = h\sqrt{1 - \left(\frac{x}{x_2}\right)^2} - y_0;\ \left.\frac{dy}{dx}\right|_{x=x_2} = -\tan\theta;\ y(x = x_2) = 0;$$

$$S_{seg} = 2\int_0^{x_2} y(x)dx = k \cdot S_{tr}$$

Следовательно, в общем случае параметры (a, h, y_0), определяющие форму участка поверхности, являются решением следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} y_0 = h\sqrt{1 - \left(\frac{x_2}{a}\right)^2} \\ \dfrac{-hx_2}{a^2\sqrt{1-\left(\frac{x_2}{a}\right)^2}} = \tan\theta \\ \int_0^{x_2}[k \cdot T(x,t) - y(x)]\,dx = kx_2T_m \end{cases} \quad (8)$$

Результаты и выводы

Разработана аналитическая двумерная модель нестационарного взаимодействия лазерного излучения с материалом подложки, позволяющая предсказать динамику изменения температуры и формы поверхности расплавленного металла в отсутствие испарения вещества. Модель может быть легко распространена на трёхмерный случай и является сеточно-независимой, обеспечивая небольшие временные затраты на расчёты. Проведено моделирование нестационарной динамики температуры и формы поверхности изначально плоского образца в процессе точечного нагрева лазером с гауссовым пространственным распределением интенсивности излучения. В будущем планируется модернизация модели путём учёта выноса вещества за счёт испарения.

Список литературы

1. *Светушков Н.Н., Третьякова О.Н.* О моделировании процессов лазерного нагрева поверхностей материалов // Приборы. 2009. № 8 (110), С. 59–63.

2. *Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н.* Основы лазерной обработки материалов // М.: Машиностроение. 1989. 304 с.

AN ANALYTICAL MODEL OF LASER CUTTING TAKING INTO ACCOUNT THE PHASE TRANSITIONS

Melnikov A.
Supervisor: I. Tsivilsky, Ph.D.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

A novel approach to modeling of the dynamics of the surface and temperature of a metallic sample under an influence of the laser radiation is proposed. The model provides analytical expressions for temperature and surface geometry, as a function of time, taking into account thermal conductivity and surface tension.

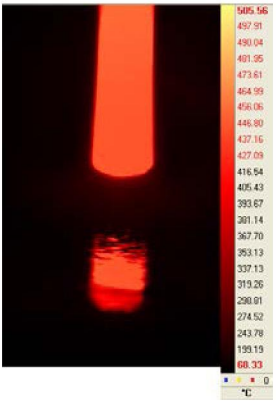
УДК 537.5

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗОНЕ ГОРЕНИЯ РАЗРЯДА С ЖИДКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Нагорнова Д.В.
Научный руководитель: Ал.Ф. Гайсин
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В рамках данной работы были исследованы особенности тепловых процессов протекающих в зоне горения низкотемпературной плазмы разряда между металлическим анодом и жидким катодом при атмосферном давлении.

Особенности физических процессов протекающих в газовых разрядах с жидкими электродами интересны как плане фундаментальных, так и прикладных исследованиях [1–3]. В рамках данной работы представлены результаты исследования нагрева среды в зоне горения разряда с одним жидким электродом. Термография поверхности электродов в зоне горения ВЧЕ разряда производилась тепловизором марки «FLIRA 6500 SC». Обработки полученных данных осуществлялась с помощью программного обеспечения «ALTAIR v5.91.010».



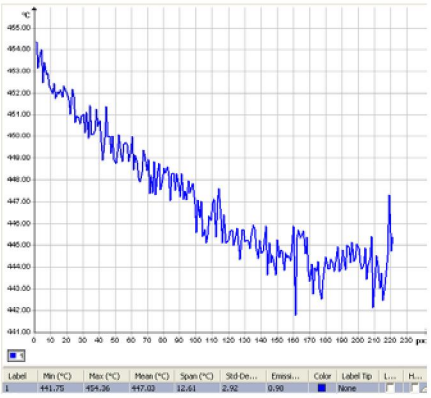


Рис. 1. Термограмма нагрева поверхности металлического анода

Исходя из анализа термограммы (рис. 1) следует, что поверхность металлического анода находиться в диапазоне 441–454 градусов Цельсия.

Список литературы

7. *Фортов В.Е., Сон Э.Е., Бромберг Л., Гайсин Ф.М., Сон К.Э., О Джон Хе, И Хе Ионг.* Плазменные технологии (на корейском языке) МФТИ, KOFST, 2006. – 135с.

8. *Гайсин Ал.Ф., Саримов Л.Р.* Некоторые особенности электрического разряда между электролитическим анодом и металлическим катодом // Физика плазмы. 2011. Т. 37. № 6. С. 574.

9. *Гайсин Ал.Ф.* Исследование воздействия низкотемпературной плазмы парогазовых разрядов с электролитическими электродами при пониженном давлении на изделие сложной геометрической формы // Физика и химия обработки материалов. 2016. № 3. С. 22–26.

THERMAL PROCESSES IN THE COMBUSTION ZONE OF THE DISCHARGE WITH LIQUID ELECTRODE

Nahornova D.
Supervisor: A. Gaisin, PhD, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan)

In this work, were investigated features of thermal processes occurring in the combustion zone of the low-temperature plasma discharge between the metal anode and liquid cathode at atmospheric pressure.

УДК 621.793

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 20 ИМПУЛЬСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА

Пегасина А.В., Шепелев А.Е.
Научный руководитель: С.А. Солохин, канд. физ.-мат. наук
(Ковровская государственная технологическая академия им. В. А. Дегтярева, г. Ковров)

Отмечены возможности технологического использования волоконного лазера ЛС-5 для обработки конструкционной стали 20. Продемонстрирован способ повышения эффективности сверления отверстий, основанный на профилировании воздействующих лазерных импульсов.

Волоконные лазеры являются одним из наиболее крупных достижений современной квантовой электроники. Это направление возникло на стыке лазерной физики и волоконной оптики. Существует ряд преимуществ волоконных лазеров по сравнению с традиционными, которые позволяют им использоваться в различных областях гражданского и военного назначения наравне с обычными лазерами, а в ряде случаев и заменить их [1].

К основным преимуществам волоконных лазеров относительно других типов лазеров относятся:

– относительно высокий КПД, 25-30 %;

– возможность создания излучателей высокой мощности до (100 кВт) путем объединения излучения нескольких волоконных лазерных модулей в одно;

– компактность и простота в обслуживании и ремонте вследствие малой теплоотдачи, не требующей интенсивного охлаждения;

– возможность передачи излучения по световоду;

– не требуют юстировок, обслуживания либо регламентной замены каких-либо узлов в течение всего срока эксплуатации.

Сегодня волоконные лазеры активно вытесняют традицион-

ные лазеры из таких областей технологического и военного применения как: лазерная резка и сварка металлов, маркировка и обработка поверхностей, лазерная дальнометрия, трехмерная локация, телекоммуникации.

В настоящее время известны технологические волоконные лазеры, генерирующие излучение мощностью более 20 кВт в спектральном диапазоне от 1 до 2 мкм. Использование таких лазеров позволяет обеспечить различные временные характеристики импульсов излучения [2].

Данное обстоятельство позволяет выполнять обработку металлов импульсным лазерным излучением путем реализации режима скоростного удаления продуктов разрушения из формируемого канала проплавления материала. Весьма эффективным для этого оказывается воздействие на металл лазерных импульсов со специальным временным распределением энергии [3].

В основе предлагаемого подхода положен принцип функционального разделения энергетического действия для различных участков профилированного лазерного импульса (рис. 1), воздействующего на металл. Так, большая энергия переднего фронта импульса (длинный импульс) с низкой амплитудой (высокой энергией) расходуется на интенсивное плавление материала, энергия заднего фронта (короткий импульс-пичок) – на эффективное удаление продуктов разрушения за счет высокой плотности мощности [4].

В работе была исследована эффективность воздействия импульсным излучением волоконного лазера на листовые образцы толщиной от 2,5 до 4 мм, изготовленные из конструкционной стали 20. В эксперименте использовался серийно выпускаемый компанией «ИРЭ-Полюс» иттербиевый волоконный лазер ЛС-5. Фокусировка излучения на образцы осуществлялась оптической системой, включающей в себя коллиматор, телескоп, поворотное и сферическое зеркала.

Рис. 1. Профилированный лазерный импульс

При проведении эксперимента осуществлялась регистрация времени сверления сквозных отверстий в образцах при воздействии профилированных и непрофилированных лазерных импульсов излучения аналогичной энергии. Профилированный импульс (рис. 1), представлял собой совокупность длинного импульса (~3 мс) с коротким импульсом-пичком (~1 мс). В непрофилированном импульсе короткий импульс-пичок отсутствовал.

Эксперименты проводились при средней мощности лазерного излучения 750–3000 Вт при частоте следования импульсов 50 Гц.

При воздействии профилированных импульсов на образец толщиной 2,5 мм полная вложенная энергия для разрушения сократилась с 12,5 кДж до значения 3 кДж, что в 4 раза меньше по сравнению с действием непрофилированных лазерных импульсов аналогичной энергии, время разрушения образца при этом сокращалось в 5 раз (от 5 до 1 с). С увеличением толщины образца разница по времени и величине вложенной энергии лазерного излучения для профилированных и непрофилированных лазерных импульсов сокращалась: для образца толщиной 3 мм время разрушения уменьшилось в 3 раза (с 12 до 4 с), а вложенная энергия – в 2,5 раза (с 30 до 12 кДж) соответственно; для образца толщиной 4 мм – время разрушения и вложенная энергия излучения уменьшились в 2,5 раза (с 31 до 12,5 с) и в 2 раза (с 77,5 до 37,5 кДж) соответственно.

Таким образом, воздействие профилированными импульсами

волоконного лазера на образцы из конструкционной стали 20 толщиной 2,5-4 мм позволяет сократить время сверления сквозного отверстия в 2,5-5 раз и уменьшить вложенную энергию излучения в 2-4 раза по сравнению с воздействием непрофилированных лазерных импульсов.

Список литературы

1. *Дианов Е.М.* Волоконные лазеры // Конференции и симпозиумы. Т. 174, № 10. С. 1139–1142.

2. *Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И.* Технологические процессы лазерной обработки. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 670 с.

3. *Каюков С.В.* Расширение возможностей импульсных YAG – лазеров миллисекундного диапазона длительности в технологии сварки // Квантовая электроника. 2000. Т. 30. № 11. С. 941–948.

4. *Шепелев А.Е., Солохин С.А., Давыдова И.А.* Методика повышения эффективности воздействия импульсами лазерного излучения на оболочки взрывоопасных объектов при их бездетонационном обезвреживании // Вопросы оборонной техники. 2016. № 5-6. С. 79–85.

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TREATMENT EFFECTIVENESS OF STRUCTURAL STEEL 20 OF FIBER LASER PULSE RADIATION

Pegasina A., Shepelev A.
Supervisor: S. Solokhin,
candidate of physico-mathematical sciences, docent
(Kovrov State Technological
Academy named after V.A. Degtyarev, Kovrov)

The possibilities of technological use of the LS-5 fiber laser for processing structural steel 20 have been noted. A method for improving the efficiency of hole drilling based on the profiling of the acting laser pulses is demonstrated.

УДК 537.525

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДНОГО СЛОЯ АЛЮМИНИЯ ПОЛУЧЕННОГО ПРИ ПОМОЩИ ОКСИДИРОВАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫМ РАЗРЯДОМ

Петряков С.Ю., Гайсин Аз.Ф.
Научный руководитель: Аз.Ф. Гайсин,
доктор технических наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Для улучшения свойств защитной оксидной плёнки на алюминии, было проведено предварительно оксидирование многоканальным разрядом, и исследование плазменных процессов происходящих при оксидировании, для выявления механизма зарождения оксида.

Алюминий – металл имеющий высокую электро- и теплопроводность, который поддаётся литью, формовке, механической обработке. Имеет высокую коррозионную стойкость за счёт образования поверхностной оксидной пленки, защищающий от дальнейшего взаимодействия [1]. Чистый алюминий в кислородной среде быстро окисляется, поэтому в нормальных условиях алюминиевые изделия покрыты оксидной плёнкой [1]. Недостатки оксидного слоя: высокая пористость поверхности – снижает коррозионную стойкость, а так же малая толщина оксидного слоя – при нагрузке слой продавливается.

Для решения постеленных задач алюминий подвергли оксидированию многоканальным разрядом [2-3], что привело к заметному улучшению свойств. Толщина оксидной плёнки повысилась со 100 мкм до 255 мкм, а пористость снизилась до 5–10 %. Электрохимическая, химическая, лазерная, механическая не позволяли получить поверхности с такими свойствами. Для дальнейшего развития данного метода обработки была изучена плазма, благодаря которой и образуется описанное выше покрытия. Изучение процессов в плазме позволит прогнозировать результаты, которые получатся в результате обработки.

Анализ спектра излучения (рис.1) показывает, что в наблюдаемом участке плазмы присутствуют молекулы, атомы и ионы различного наименования (см. таблица 1).

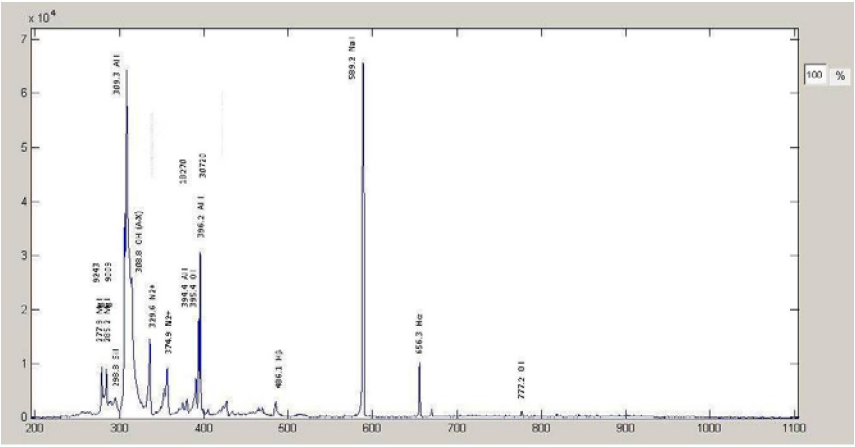


Рис. 1. Спектр плазмы с отождествленными спектральными линиями

Таблица 1

Излучающие компоненты спектра

Атомы	Водород HI кислород OI, алюминий Al I, натрий NaI, магний Mg I, кремний Si I
Молекулы	OH, N2+
Континуум	350-750нм

Аппаратное уширение в исследуемом спектре проверено по атомарной линии Al I (396.4) и. Минимальная ширина оптически тонких и самых узких линий составила $\Delta\lambda g \approx 1$ нм, – она и принята за аппаратную ширину. Спектроскопическая оценка концентрации электронов в плазме потенциально возможна по нескольким водородным линиям серии Бальмера, однако, регистрируемая интенсивность линии H_α едва превышает шумовую составляющую спектра, а полуширина $\Delta\lambda_f$ наиболее интенсивной в серии линии H_α ($\Delta\lambda_f \approx 1.20$ нм) близка к величине аппаратного уширения. В связи с этим, для оценки концентрации электронов использовалась только

H_β, которая в наблюдаемом спектре достаточно надёжно регистрируется и для которой вклад аппаратной функции в физический (измеряемый) контур менее значителен благодаря большей, чем у H_α, константе линейного Штарк-эффекта [4-5].

Измеренная полуширина $\Delta\lambda_f$ линии H_β оказалась равна 2.00 нм. С учётом аппаратной составляющей уширение линии вследствие эффектов давления $\Delta\lambda_L$ оценивается нами в 1.47 нм [4-5]. Согласно справочнику Касабова Г.А. [4], величина $\Delta\lambda_L = 1.47$ соответствует концентрации $n_e = 1.6 \cdot 10^{16}$ см$^{-3}$. Проверка оценки выполнена по графической зависимости в работе [5] Очкина В.Н, на основании которой полуширина H_β приблизительно соответствует концентрации $n_e = 1{,}81 \cdot 10^{16}$ см$^{-3}$. Увеличение точности оценки концентрации электронов требует прямого измерения аппаратной функции используемого спектрометра (она велика), или использования прибора более высокого спектрального разрешения.

Используемый нами метод оценки температуры электронов предполагает наличие в плазме состояния локального термодинамического равновесия (ЛТР) [5]. Оценка выполнена на основе известной температурной функции отношения интенсивностей линий одной кратности [5]. В данном методе используется значение концентрации электронов, которое должно быть определено независимо. Таким образом, температура электронов, рассчитанная по отношению атомной линии Mg I (277.9 нм) к атомной линии Mg I (285.2 нм) с учётом измеренной по H_β концентрации $n_e = 1{,}81 \cdot 10^{16}$ см$^{-3}$, получилась равной $T_e = 0{,}37$ эВ.

При данном виде обработки исследование показало, что получена максимальная толщина поверхностного оксидного слоя алюминия в 255 мкм с пористостью порядка 5–10 %, при этом толщина оксидного слоя увеличилась и стала более равномерной при переменном токе для изделий плоских форм. Исследование плазмы которая использовалась для обработки показало, что концентрация электронов $n_e = 1{,}81 \cdot 10^{16}$ см$^{-3}$, температура электронов равна $T_e = 0{,}37$ эВ, вращательная и колебательные температуры равны: T_v=3300 К, T_r=2500 К.

Список литературы:

1. *Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М.* Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. М.: Техносфера 2011. 464 с.

2. *Гайсин Ф.М., Сон Э.Е.* Электрофизические процессы в разрядах с твердыми и жидкими электродами. / Свердловск: Изд-во Уральск. ун-та, 1989. 432 с.

3. *Гайсин Ф.М., Сон Э.Е.* Возникновение и развитие объемного разряда между твердыми и жидкими электродами. // Химия плазмы, 1990, Т. 16, с. 120.

4. *Касабов Г.А., Елисеев В.В.* Спектроскопические таблицы для низкотемпературной плазмы: Справочник. // М.: Атомиздат, 1973. 160 с.

5. *Очкин В.Н.* Спектроскопия низкотемпературной плазмы. // М. Физматлит, 2006. – 472 с.

INVESTIGATION OF ALUMINUM OXIDE LAYER RECEIVED BY MICROWAVE OXIDATION

Petryakov S., Gaisin Az.
Scientific director: Az. Gaisin,
Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract In order to improve the properties of the protective oxide film on aluminum, preliminary oxidation was carried out, and the investigation of plasma processes occurring during oxidation was carried out to reveal the mechanism of oxide formation.

УДК 621.7-4

СТОЙКОСТЬ ТИТАНА И НИТРИДА ТИТАНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОННОГО ПОТОКА АЗОТА

Рязанов В.А.
Научный руководитель: Д.В. Духопельников,
канд. техн. наук, доцент
(Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва)

Работа посвящена исследованию взаимодействия ионного потока азота с поверхностью титана и нитрида титана. В качестве моделирующего устройства использовалась магнетронная распылительная система. Предложена методика определения эффективного коэффициента распыления материала ионами реактивных газов. Были определены значения эффективных коэффициентов распыления титана и нитрида титана ионами аргона и азота и исследованы их зависимости от средней энергии бомбардируемых ионов.

Введение

Воздействие ионных потоков инертных газов на материалы используется в процессе получения атомарных потоков в магнетронных распылительных системах (МРС) [1, 2] и в наноразмерной ионно-лучевой обработке оптических деталей [3, 4]. Такое воздействие характеризуется коэффициентом распыления [5]. Зависимости коэффициентов распыления материалов от энергии ионов инертных газов изучены хорошо [6, 7]. Однако часто встречаются задачи, в которых необходимо рассматривать распыление конструктивных элементов потоками ионов реактивных газов и их смесей.

Космические аппараты (КА), которые находятся на низкой околоземной орбите, под воздействием набегающего потока сильно разряженной атмосферы теряют скорость, что приводит к снижению их орбиты. Эффективным способом компенсации торможения

КА является использование электрического ракетного двигателя, работающего на забортном воздухе [8]. Это позволит увеличить массу полезной нагрузки КА и время его активного существования.

Однако для реализации этой идеи требуется понимание процессов, происходящих при воздействии ионного потока азота и кислорода на конструктивные элементы двигателя.

Целью работы является определение зависимости эффективного коэффициента распыления титана *Ti* и нитрида титана *TiN* от средней энергии бомбардируемых ионов азота.

Оборудование

Работа проводилась на экспериментальной установке с вакуумной камерой диаметром 700 мм и длиной 700 мм. Установка оснащена турбомолекулярным насосом *Oerlikon Leybold Vacuum TURBOVAC MAG 3200 CT*. Остаточное давление перед началом эксперимента было не выше $5{,}6 \cdot 10^{-4}$ Па.

Измерения эффективного коэффициента распыления $S_{эф}$ проводились на МРС с диаметром катода 50 мм. Катоды-мишени были изготовлены из титана марки ВТ1-00. Для определения коэффициентов распыления нитрида титана на титановые катоды было нанесено покрытие *TiN* толщиной 10 мкм. С целью уменьшения влияния выработки катода и образования на поверхности химических соединений для каждого эксперимента изготавливался свой катод.

В качестве рабочих газов использовали аргон и азот. Давления рабочих газов лежали в диапазоне от $2 \cdot 10^{-2}$ до $3 \cdot 10^{-1}$ Па. Источник питания МРС работал в режиме стабилизации тока. Напряжение разряда поддерживалось на заданном уровне изменением давления рабочего газа.

Взвешивание катода осуществлялось на аналитических весах *Sartorius CPA225D*. В качестве источника питания разряда МРС использовался источник *MKS Instruments RPDG-50*.

МРС была выбрана как модельное устройство, т.к. функции распределения ионов по энергиям $f(\varepsilon)$ и средняя энергия ионов $\varepsilon_{ср}$ приходящих на поверхность катода в МРС, на элементы ионно-

оптической системы ускорителей и стенки ускорительного канала холловских двигателей близки [9].

Эксперимент

Практически во всех работах экспериментальные значения коэффициентов распыления получены для моноэнергетических пучков ионов $S(\varepsilon)$ [6, 7]. Рассчитать эффективный коэффициент распыления $S_{эф}$ можно как:

$$S_{эф} = \int_0^{\infty} S(\varepsilon) \cdot f(\varepsilon) d\varepsilon \qquad (1)$$

Предполагалось, что в исследуемом диапазоне энергий ионов $S_{эф}$ близок к коэффициенту распыления $S(\varepsilon_{ср})$ при моноэнергетическом пучке с энергией равной средней энергии ионов в МРС $\varepsilon_{ср}$:

$$S_{эф}(\varepsilon_{ср}) \approx S(\varepsilon_{ср}),\ \varepsilon_{ср} = \int_0^{\infty} \varepsilon \cdot f(\varepsilon) d\varepsilon \qquad (2)$$

В работах [10, 11] экспериментально получены функции распределения по энергиям ионов приходящих на катод при различных параметрах разряда, магнитной системы и различных материалах катодов. Интегрирование полученных функций распределения показало, что в расчетах можно полагать величину $\varepsilon_{ср}$ в МРС равной $0{,}8eU_р$, здесь e –заряд электрона, Кл, а $U_р$ – напряжение разряда, В.

Эффективный коэффициент распыления $S_{эф}(\varepsilon_{ср})$ определялся по разнице масс катода до начала распыления M_1 и после окончания распыления M_2 (катод взвешивался до и после распыления):

$$S_{эф}(\varepsilon_{ср}) = \frac{e \cdot (M_1 - M_2)}{m_p \cdot M_a \cdot I \cdot t},\ \varepsilon_{ср} = 0{,}8 \cdot eU_p, \qquad (3)$$

где $m_p = 1{,}6 \cdot 10^{-27}$ – масса протона, кг, M_a – относительная атомная масса исследуемого материала, а.е.м., I – ионный ток, А, t – время работы магнетрона, с.

На рисунке 1 показаны значения эффективных коэффициентов распыления титана и нитрида титана ионами аргона и азота в зависимости от средней энергии иона.

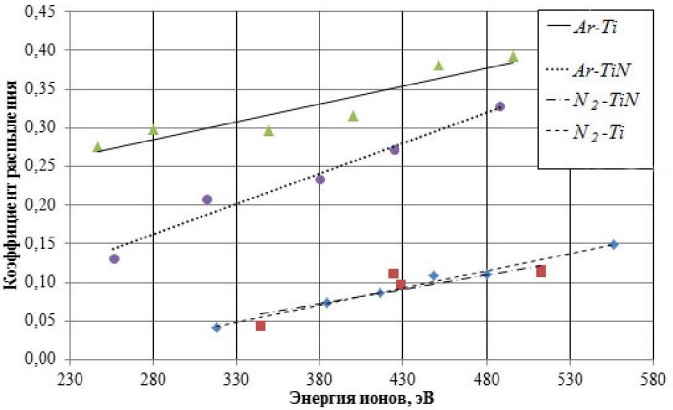


Рис. 1. Экспериментальные значения коэффициентов распыления титана и нитрида титана ионами аргона и азота

Обсуждение результатов эксперимента

Из рисунка 1 видно, что коэффициенты распыления *Ti* и *TiN* ионами азота значительно ниже коэффициентов распыления ионами аргона. Такое поведение может быть объяснено тем, что на поверхности мишени протекают два конкурирующих процесса: распыление материала и хемосорбция азота с образованием *TiN*. В результате, распыляется не чистый материал мишени, а самовосстанавливающаяся поверхностная пленка из химических соединений.

В работе [12] исследовано распыление *Ti* и *TiN* ионами аргона и азота. Распыление производилось при помощи внешнего ионного источника в глубоком вакууме. Показано, что при ионной обработке *TiN* парциальные коэффициенты распыления азота превышают парциальные коэффициенты распыления *Ti*, что приводит к снижению концентрации азота на поверхности по сравнению с концентрацией *Ti*. В настоящей работе распыление мишени произ-

водилось в среде азота при давлениях от $2 \cdot 10^{-2}$ до $3 \cdot 10^{-1}$ Па. В результате, распыленные с поверхности атомы азота замещаются атомами газовой среды. Поэтому изменение массы образца после ионной обработки определяется только незначительным распылением атомов *Ti*. Эти выводы подтверждаются близкими значениями коэффициентов распыления *Ti* и *TiN* в азоте.

Выводы

Подтверждено предположение о том, что в исследуемом диапазоне энергий ионов эффективный коэффициент распыления в МРС близок к коэффициенту распыления моноэнергетическим пучком с энергией равной средней энергии ионов в МРС.

Показано, что $S_{эф}$ *Ti* и *TiN* ионами азота практически равны и существенно ниже, чем коэффициенты распыления ионами аргона.

При проектировании устройств, в которых встречается взаимодействия потоков ионов азота с *Ti*, необходимо учитывать, что отсутствует необходимость покрывать *Ti* каким либо защитными покрытиями, так как коэффициент его распыления крайне низок.

Список литературы

1. *Кузмичёв, А.И.* Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. – К.: Аверс, 2008. –244с.

2. Магнетронные распылительные системы: учебное пособие: в 2 ч. – Ч. 1: Устройство, принципы работы, применение / Д.В. Духопельников. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 53 [2] с.: ил.

3. *Духопельников, Д.В., Воробьев, Е.В., Ивахненко, С.Г., Кириллов, Д.В.* Управление формой пучка технологического ионного источника для высокоточной обработки поверхности Вестник Московского Государственного Технического Университета им. Н.Э. Бауамна. Серия: естественные науки. 2017. № 3. С. 24–36

4. *Духопельников, Д.В., Ивахненко, С.Г., Воробьев, Е.В., Азербаев, А.А.* Влияние режима ионной обработки на плотность дефектов и разрушение поверхности астроситалла // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 12. С. 181–

5. *Каминский, М.* Атомные и ионные столкновения на поверхности металла, пер. с англ. – М.: Мир, 1967. – 508 с.

6. *Плешивцев Н.В.* Катодное распыление / – Атомиздат, 1968 – 347 с.

7. *Бериш Р.* Распыление твердых тел ионной бомбардировкой: Физ. распыления одноэлементных твердых тел. Пер. англ. / – М: Мир, 1984 – 336 с., ил.

8. *Духопельников, Д.В., Ивахненко, С.Г., Курилович, Д.А.* Холловские двигатели на забортном воздухе для космических аппаратов на низкой опорной орбите // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. № 12. С. 227–238.

9. *Духопельников, Д.В., Рязанов, В.А., Воробьев, Е.В., Абгарян, В.К., Попов, Г.А., Хартов, С.А.* Эффективные коэффициенты распыления титана, нитрида титана и молибдена ионами азота и смеси азот-кислород // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2016. № 12. С. 15–21

10. *Хохлов, Ю.А.* Плазменные ускорители с азимутальным дрейфом электронов для получения тонких оптических пленок: Дис. …канд. техн. наук. – Москва, 1987. – 254 с.

11. *Елистратов, Н.Г.* Экспериментальное моделирование взаимодействия плазмы изотопов водорода с элементами стенки реактора ИТЭР: Дис. канд. техн. наук. – Москва, 2004. – 192 с.

12. Absolute sputtering yield of Ti/TiN by Ar+/N+ at 400-700 eV. R. Ranjan [and others]. Journal of Vacuum Science and Technology A19, 1004 (2001).

RESISTANCE OF TITANIUM AND TITANIUM NITRIDE UNDER THE INFLUENCE OF ION FLOW NITROGEN

Ryazanov V.
Supervisor: D. Dukhopelnikov, Ph.D., Associate Professor
(Bauman Moscow State Technical University, Moscow)

The work is devoted to the investigation of the interaction of the ion flux of nitrogen with the surface of titanium and titanium nitride. The magnetron

sputtering system was used as the modeling device. The method for determining the effective coefficient of atomization of a material by ions of reactive gases was proposed. The values of the effective coefficients of sputtering of titanium and titanium nitride with argon and nitrogen ions were determined and their dependences on the average energy of the bombarded ions were investigated.

УДК 537.5

ПРЕИМУЩЕСТВА ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОЛЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА ПО СРАВНЕНИЮ С ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

Сергиенко П.В., Нургалиева Р.Р.
Научный руководитель: М.Ф. Ахатов, доцент
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань)*

Приведена информация о методах обеззараживания воды с помощью солевого электролиза и плазменной технологии. Выявлены достоинства каждого метода. Сформулирован вывод.

Вода – основополагающий и ограниченный ресурс нашей планеты. Она является важнейшим веществом и фундаментом для всех живых существ, населяющих Землю. Поэтому так важно, чтобы данный ресурс использовался разумно. Однако, на сегодняшний день тысячи предприятий, выбрасывающие производственные отходы, загрязняют реки и озера, которые служат нам, в первую очередь, источником живительной силы. Исследуя эту актуальную в настоящее время проблему, была поставлена задача: рассмотреть и проанализировать виды обеззараживания воды с применением определённых подходов, таких как метод, основанный на солевом электролизе, и технология плазменной очистки, выявить преимущества, оценить эффективность методов при их ресурсозатратах.

Обеззараживание воды с помощью **солевого электролиза** – это вполне несложная технология. В воду добавляют определенное количество соли, концентрация которой крайне мала.

Существует два вида дезинфекции воды на основе солевого электролиза:

1. Электролизные установки, которые работают по технологии проточного электролиза. В емкость с водой добавляется малое количество соли, чтобы солевой электролиз образовал сильное обеззараживающее средство. Когда подается ток, в электролизной ячейке появляется новое химическое соединение – хлорноватистая

кислота (HOCl), образующаяся вследствие электрохимической реакции. Кислота уничтожает органические вещества (микробы, бактерии, вирусы). Этот окислитель может обратно превращаться в соль после обеззараживающего действия, и цикл повторяется сначала. Хлорамины после того, как пройдут возле электродов, разрушаются, выделяя хлор, который, в свою очередь, будет использован заново.

2. Электролизные установки, вырабатывающие хлор в отдельной емкости. Использование такой установки не требует добавления соли в воду. Хлор, будучи в газообразном состоянии, вырабатывается путем электролиза соли в специальной камере, подается дозируемыми порциями, что приводит к образованию гипохлорита натрия(NaOC) [1].

Достоинства: экономичность, простота использования, возможность автоматизации процесса, эффективное обеззараживание, нет передозировки хлора, так как хлор вырабатывается постепенно, а не впрыскивается импульсами.

Метод очистки воды при помощи **плазменной технологии** представляет собой импульсный электрический разряд с генерацией холодной плазмы в многофазной среде. Данная технология является деструктивным методом, который вносит химические изменения в структуру для обеззараживания и удаления примесей из воды. Воздействие импульсных электрических разрядов способствует возникновению особого вида газоразрядной плазмы, а именно Низкотемпературной плазмы. Процесс очистки воды происходит благодаря одновременному воздействию на воду потока заряженных частиц, возникновению переменного электромагнитного поля и излучения. Данный метод является экологически чистым, надежным [2].

Достоинства: Низкие эксплуатационные расходы, высокая степень автоматизации, отсутствие химических реагентов, универсальность, мобильность.

Вывод: Рассмотренные виды очистки воды достаточно популярны и широко распространены. Оба метода эффективно борются с загрязнениями, делая воду чище и безопаснее. Однако, метод, основанный на солевом электролизе, представляет наибольший

интерес, так как он менее затратный, практичный, не требует специализированного оборудования. Солевой метод используется в странах Европы и начинает широко применяться в России.

Список литературы

1. *Садыкова А.Р., Ахатов М.Ф., Каюмов Р.Р., Гайсин Ф.М.* Современное состояние очистки сточных вод и перспективы применения электрического разряда // ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА материалы Международной научно-практической конференции. Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. 2015.

2. *Одарюк В.А., Тронин С.Я.* Плазмохимические технологии очистки промышленных сточных вод, газовых выбросов, переработки нефти, твердых бытовых отходов (ТБО) и промышленных отходов // Технологии гражданской безопасности, том 11, 2014. С. 47–49.

ADVANTAGES OF WATER DISINFECTION WITH ELECTROLYSIS USING A SALINE COMPARED TO PLASMA

Sergienko P., Nurgalieva R.
Supervisor: M. Ahatov, PhD, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan)

The article presents information about methods of water disinfection with help of Saline electrolysis and Plasma Technology. The advantages are revealed of each method. The conclusion is formulated.

УДК 537.5

ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД МЕЖДУ СТАЛЬНЫМ АНОДОМ И ЖИДКИМ КАТОДОМ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Сергиенко П.В., Нургалиева Р.Р., Уразов А.Н.
Научный руководитель: Ал.Ф. Гайсин
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В рамках данной работы были исследованы электрофизические процессы низкотемпературной плазмы газового разряда, протекающие между стальным анодом и жидким катодом при атмосферном давлении. Исследован микрорельеф поверхности стального образца до и после плазменной обработки. Также исследована температура в пароплазменной оболочке в процессе обработки изделия.

Наряду с исследованием физических процессов, которые протекают в газовых разрядах, генерируемых между твердыми электродами, большой интерес представляют разряды, генерируемые в межэлектродном промежутке, где один из электродов является жидкостью. Также в настоящее время в промышленности стоят задачи по повышению качества поверхностного слоя изделий, применяемых в машиностроении, авиации, ракетостроении, медицине. Одна из первостепенных задач – это очистка поверхности от органических и неорганических загрязнений, увеличение класса шероховатости [1–3].

Экспериментальная установка для исследования газового разряда между стальным анодом и жидким катодом представлена на рисунке 1, где: 1 – металлическая пластина для подвода отрицательного потенциала к электролиту; 2 – положительный потенциал; 3 – обрабатываемое изделие из стали; 4 – электролитическая ячейка; 5 – электролит; 6 – область с разрядом. В качестве электролита применялся 10 % раствор NaCl в технической воде.

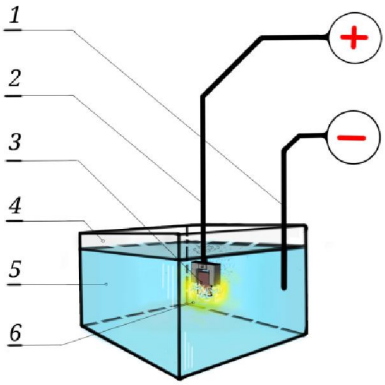


Рис. 1. Экспериментальная установка

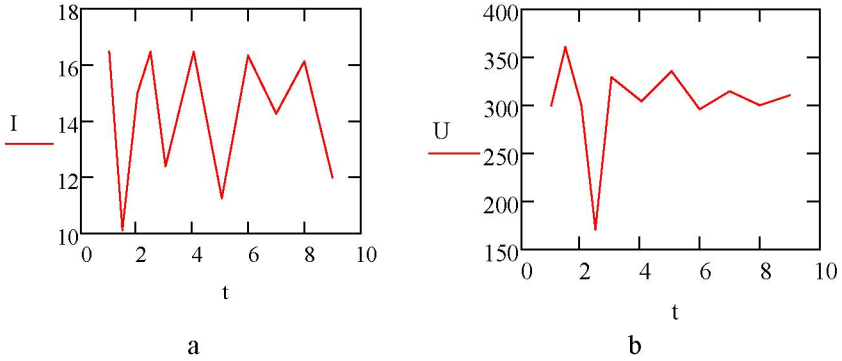
Для решения поставленных задач применялись следующие методы исследования:

8. Для визуального описания газового разряда применялась фото-видеосъемка с помощью смартфона «Xiaomi REDMI3».

9. Для исследования электрофизических параметров газового разряда при обработке изделия применялись амперметр и вольтметр различного класса точности.

10. Для исследования микрорельефа поверхности изделия до и после обработки применялся микроскоп ОГМЭ – П2 с функцией наблюдения прямого и объемного изображения рассматриваемых предметов в отраженном свете.

11. Для исследования температуры в пароплазменной оболочке применялся инфракрасный пирометр «TemPro 300».



a b

Рис. 2. Графики зависимости:
a – тока от времени; b – напряжения от времени

Исходя из графиков зависимости тока разряда от времени обработки и напряжения от времени обработки (рис. 2*a-b*) следует, что разряд генерируется в пароплазменной оболочке в виде импульсов с различной амплитудой и частотой. Основной вклад в генерацию разряда в виде импульсов вносят особенности, которые протекают в пароплазменной оболочке гидрогазодинамических процессов. С подачей потенциала на электроды, вокруг образца образуется пароплазменная оболочка, в которой происходит пробой, в результате которого обколка расширяется, разряд гаснет и зажигается при ее схлопывании. Данный процесс периодически повторяется с различной частотой.

Исходя из анализа распределения температуры вблизи обрабатываемого изделия, следует, что пароплазменная оболочка достигает максимальной температуры $T_p \approx 72°C$.

Из анализа микрорельефа поверхности изделия до и после электролитно-плазменной обработки мы можем наблюдать, что поверхность очищается от органических и неорганических загрязнений. Поверхность становится более гладкой, с поверхности удаляются коррозия, жир и заусенцы. Обеспечивается электрохимическая однородность верхнего слоя.

Список литературы

10. *Фортов В.Е., Сон Э.Е., Бромберг Л., Гайсин Ф.М., Сон К.Э., О Джон Хе, И Хе Ионг.* Плазменные технологии (на корейском языке) МФТИ, KOFST, 2006. – 135 с.

11. *Гайсин Ал.Ф., Саримов Л.Р.* Некоторые особенности электрического разряда между электролитическим анодом и металлическим катодом // Физика плазмы. 2011. Т. 37. № 6. С. 574.

12. *Гайсин Ал.Ф.* Исследование воздействия низкотемпературной плазмы парогазовых разрядов с электролитическими электродами при пониженном давлении на изделие сложной геометрической формы // Физика и химия обработки материалов. 2016. № 3. С. 22–26.

GAS DISCHARGE BETWEEN STEEL ANODE AND LIQUID CATHODE AT ATMOSPHERIC PRESSURE

Sergienko P., Nurgalieva R., Urazov A.
Supervisor: Al. Gaisin, PhD, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan)

Within this work was the electrophysical processes of the low-temperature plasma of a discharge through gases proceeding between the steel anode and the fluid cathode at atmospheric pressure are investigated. The microrelief of a surface of a steel exemplar before plasma processing is investigated. Temperature in a paroplazmenny envelope in processing of a product is investigated.

ПОДСЕКЦИЯ 2.5

ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 504.5:502.175+628.3+658.567

ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Анисовец Н.В., Асадчая В.А., Козловский Я.Ю.
Научный руководитель: Т.А. Сахнович, канд. экон. наук, доцент
(Белорусский национальный технический университет, г. Минск)

В данной работе рассмотрены причины загрязнения и способы инженерной защиты окружающей среды. Приведены мероприятия по очистке гидросферы, литосферы и атмосферы, а также примеры оборудования для защиты окружающей среды.

Научное развитие человечества не стоит на месте. Ученые делают открытия, которые переворачивают мир, разрешая проблемы, ранее считавшиеся неразрешимыми. Современные технологии позволяют человеку претворять свои идеи в жизнь, многократно опережая промышленное развитие прошлых десятилетий. Однако мало кто знает, какой ценой это было достигнуто. Созданное для удовлетворения потребностей общества, производство может оказывать крайне негативное и разрушительное воздействие на окружающую среду. Промышленные загрязнения уже достигли глобальных масштабов, затрагивая все внешние геосферные оболочки Земли.

Загрязнение атмосферы происходит в результате работы промышленного сектора, транспортной отрасли, а также в результате переработки бытовых отходов. Основными загрязнителями атмосферы является оксид азота, формальдегид и другие вредные химические вещества.

Загрязнение почвенного покрова происходит в результате промышленной, строительной и сельскохозяйственной деятельности. При этом главными загрязнителями являются металлы и их соединения, удобрения, ядохимикаты, радиоактивные вещества, концентрация которых приводит к изменению химического состава почв.

Загрязнение гидросферы происходит, прежде всего, в результате выброса во все водные ресурсы промышленных, сельскохо-

зяйственных и бытовых сточных вод. Но поскольку для разбавления этих вод требуется в среднем в 10 раз больший объем чистой воды, фактически они загрязняют гораздо больший объем русловых вод.

Процесс очистки сточных вод включает в себя в среднем 5 этапов: механический, физико-химический, химический, биологический и термический.

При механической очистке из производственных сточных вод посредством отстаивания, процеживания и фильтрования удаляется до 90 % нерастворимых механических примесей различного рода, а из бытовых — до 60 %.

Сооружения для механической очистки сточных вод:

- решётки (или УФС – устройство фильтрующее самоочищающееся) и сита;
- песколовки;
- первичные отстойники;
- фильтры;
- септики.

Метод физико-химической очистки применяется для удаления из промышленных сточных вод тонкодисперсных взвешенных частиц, растворимых газов, минеральных и органических веществ. Используются такие процессы, как коагуляция (укрупнение частиц), флокуляция (агрегации частиц), электрокоагуляция (образование осадка с помощью постоянного тока), адсорбцию (фильтрация через слой адсорбента) и так далее.

Химическая очистка подразумевает такие методы, как окисление и восстановление, которые применяются для обезвреживания сточных вод от сероводорода, цианидов, соединений ртути и других вредных веществ.

Если же в сточных водах содержаться минеральные соли (кальция, магния, натрия и др.) или органические вещества, то применяются термические методы очистки сточных вод. К таким методам относят концентрирование сточных вод с дальнейшим выделением растворенных веществ и огневое обезвреживание.

Однако, если сточные воды можно обезвредить до попадания в водоёмы, то с атмосферой дела обстоят иначе, так как большин-

ство вредных выбросов невозможно предотвратить. К ним относятся: пыль, туманы и газообразные смеси. Выбор устройства для очистки зависит от его эффективности, которая определяется по формуле:

$$\eta = (C_{вх} - C_{вых})/C_{вх}$$

где $C_{вх}$ и $C_{вых}$ – большие концентрации примеси в газе до и после аппарата.

Приведем эффективность отдельных типов оборудования:

- пылеосадительная камера (под действием сил тяжести происходит отделение пыли) – 58,6 %;
- обычный циклон (центробежные силы способствуют оседанию пыли) – 68,3 %;
- циклон с удлиненным конусом – 84,2 %;
- электрофильтр (очистка газов происходит за счёт электрических сил) – 97 %;
- рукавный фильтр (фильтрации газов через пористую перегородку) – 99,7 %;
- полый скруббер, орошаемый водой (частички пыли подхватываются жидкостью) – 98,5 %;
- скруббер Вентури – 99,5 %.

При удалении из воздуха токсичных газов и парообразных смесей, реализуются следующие методы:

1. абсорбционный метод (очистка выбросов растворителями содержащейся в них примеси);
2. адсорбционный метод (абсорбация газообразных примесей твердыми телами с ультрамикроскопической структурой)
3. хемосорбционная очистка, каталитическая газоочистка (нейтрализация примесей за счёт каталитического преобразования в менее опасные вещества);
4. термическое обезвреживание (нейтрализация путем сжигания).

Для восстановления литосферы применяется процесс мелиорации, т.е. улучшение земли для формирования сельского хозяйства. По месту и способу воздействия на почву выделяют следующие виды мелиорации: агротехническую (подвергает изменению физические и химические свойства земли, баланс питательных

элементов, обеспечивая ее плодородие), гидротехническую (орошение, осушение и обводнение), лесотехническую (выращивание деревьев), химическую (удобрение химическими препаратами) и культуртехническую (очищение от камней, пней, кустарников).

На сегодняшний день, человечество активно ищет способы защиты окружающей среды: увеличивается введение в эксплуатацию новых источников альтернативной энергии (солнечные батареи, ветрогенераторы), происходит постепенная замена двигателей внутреннего сгорания на экологически чистые электродвигатели и т.д.

Для РБ проблемы экологической безопасности актуальны, так как на территории республики сосредоточено большое количество крупных промышленных предприятий. Ежегодный выброс в атмосферу составляет около 450 тысяч тонн загрязняющих веществ. Национальная Академия Наук г. Минска занимается решением проблемы экологической безопасности: была разработана программа инновационного развития РБ до 2020 года, в которой описан план мероприятий по улучшению экологической ситуации в стране. В Минском регионе уже ведется разработка и создание производства вентиляционно-рекуперативных установок нового поколения повышенной энергоэффективности. С 2016 года в Брестском регионе ведется строительство биогазового комплекса по переработке полимерных и органических отходов производства и очистке сточных вод с получением биогаза и выработкой электрической энергии.

Республика Беларусь идет наравне с другими европейскими государствами в сфере экологии. Так, например, в НАН была представлена первая модель белорусского электромобиля: экспериментальный образец на базе серийной машины GeelySC7 белорусской сборки. Данное событие является одним из первых шагов Беларуси на пути экологического развития личного транспорта. Не следует обходить вниманием и самый большой по электрической мощности ветрогенератор Беларуси, который был запущен в 2011 году в д. Грабники. Мощность ветрогенератора в Грабниках составляет 1,5 МВт, нагрузка Новогрудка – 5 МВт. Соответственно, во время своей работы ВЭУ выдает энергию, которой достаточно, чтобы по-

крывать треть города. Стоит отметить, что это не первое и не единственное сооружение такого типа в Беларуси – на территории страны уже насчитывается более полусотни ветроэнергетических установок.

Таким образом, для улучшения экологического состояния планеты, мировым странам стоит прийти к соглашению о совместной работе по защите окружающей среды. Это требует подготовки новых инженерных кадров, которые положат начало следующей эре экологически чистых предприятий.

Список литературы

1. *Ясовеев М.Г., Какарека Э.В., Шевцова Н.С., Шершнев О.В.* ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ – М.: БГПУ, 2010. С. 220.

2. *Буторина М.В., Дроздова Л.Ф., Иванов Н.И.* и др.; под ред. Н.И. Иванова, И.М. Фадина. Инженерная экология и экологический менеджмент: учебник. М.: Логос, 2011. С. 477.

ENGINEERING ENVIRONMENTAL PROTECTION

Anisovets N., Asadchaya V., Kozlovskiy Y.
Supervisor: T. Sahnovich, candidate of economic sciences, docent
(Belarusian National Technical University, Minsk)

In this paper we consider the causes of pollution and ways of engineering environmental protection. Measures for cleaning the hydrosphere, lithosphere and atmosphere, as well as examples of equipment for environmental protection are given.

УДК 621.31

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ МИКРОРАЙОНА ШЛЮЗОВОЙ Г.О. ТОЛЬЯТТИ

Бану В.А.
Научный руководитель Н.Е. Данилина, к.п.н., доцент
(Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти)

В работе приведены результаты исследования уровня электромагнитных излучений в селитебной зоне одного из микрорайонов в г.о. Тольятти. Разработаны мероприятия по защите от воздействия ЭМИ.

Актуальность данного исследования обусловлена наличием большого числа высоковольтных электроустановок (воздушные линии электропередачи, трансформаторные подстанции) в селитебноймикрорайона Шлюзовой и связанного с этим высокого уровня электромагнитных излучений (ЭМИ). По данным администрации г.о Тольятти, у жителей данного микрорайона заболевания кровеносной системы развиваются чаще чем у жителей остальных районов г.о. Тольятти в 2 раза.

Целью проекта является проведение исследования электромагнитных излучений и разработка мероприятий по защите от их воздействия. Перед нами стояли следующие задачи: изучение нормативной литературы по электромагнитным излучениям, измерениенапряженности электрического и магнитного полей в селитебной зоне микрорайона, проведение анализа и выявление соответствия заболеваемости жителей микрорайона с уровнем электромагнитных излучений, разработка мероприятий по защите от ЭМИ.

На основе карт уровней электромагнитных полей экологического атласа г.о. Тольятти были определены основные точки замеров, результаты измерений в которых показали превышение нормативных значений напряженности в 3 раза. Авторы установили соответствие и построили кривую зависимости показателей напряженности ЭМИ и заболеваемости жителей микрорайона.

Защитное экранирование предназначено для ослабления электрических, магнитных и электромагнитных полей. Защитные

экраны позволяют значительно уменьшить проникновение или полностью исключить воздействие электромагнитных полей на конструктивные элементы оборудования, электронную аппаратуру, измерительные приборы, кабели, помещения и здания различных объектов. Благодаря эффективному экранированию электрических и электронных технических средств можно подавить любые электромагнитные помехи, исходящие из них в сеть или в окружающее пространство. По классической схеме защитный экран размещается между источником помехи и объектом, предназначенным для экранирования.Благодаря экранированию снижаются значения напряженности электромагнитного поля. Физическая сущность защитного экранирования объясняется созданием на поверхности экрана заряда или индуцированного тока, которые являются источниками полей, противодействующих существующим электромагнитным полям. Это равнозначно увеличению пути между приёмником и источником возникающей помехи. Эффективность защитного экранирования зависти от ряда факторов (частота поля, электропроводимость материала, из которого изготовлен экран,магнитная проницаемость материала защитного экрана,месторасположение и размеры экрана).Наличие различных дефектов (трещины, раковины, неоднородности.) или технологических отверстий (проёмы для ввода кабелей и проводов, отверстия для вентиляции и обслуживания) снижает защитные свойства экрана. Кроме того, внутри экранированных устройств и помещений могут возникать резонансные эффекты (практически любой корпус прибора с токопроводящими стенками в первом приближении можно рассматривать в качестве объёмного резонатора) [1, 2, 3, 4].

Мы провели сравнительную характеристику защитных экранов.Сетка из индия как из электропроводящего материала соответствует всем параметрам, кроме одного, индий высокотоксичен и не подходит для размещения рядом с людьми.

Самым лучшим защитным экраном оказалась металлизированная сетка из токопроводящего материала, гальванически соединенного с заземленными направляющими держателями, также выполненными из токопроводящего материала (сетка-рабица, прокладываемая при строительстве под облицовочный материал).

Данный экран можно устанавливать при строительстве остановочных павильонов возле высоковольтных линий электропередачи (в местах скопления людей).

Материалы, использованные при изготовлении данного экрана, можно использовать в массовом производстве.

Список литературы

1. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.consultant.ru.

2. ГН 2.1.8/2.2.42262-07 Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.consultant.ru.

3. СанПин 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.consultant.ru.

4. ГОСТ 12.4.154-85 Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.consultant.ru.

ELECTROMAGNETIC SAFETY OF THE MICROWARION OF GATEWAY. TOLYATTI

Banu V.
Scientific adviser N. Danilina, Ph.D., Associate Professor
(Togliatti State University, Togliatti)

The paper presents the results of a study of the level of electromagnetic radiation in the residential area of one of the microdistricts in the city of. Tolyatti. Measures have been developed to protect against EMP.

УДК 528.365

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ИОНООБМЕННОГО ФИЛЬТРА – МИНЕРАЛИЗАТОРА И ФИЛЬТРО-МИНЕРАЛИЗАЦИОННЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛНОЦЕННОСТИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Габдрахманова Г.Н.
Научный руководитель: Ю.А. Тунакова, докт. хим. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Представлена конструкция разработанного фильтра-минерализатора и материалы для адресной доочистки-минерализации питьевых вод на территории г. Казани.

Уровень загрязнения питьевой воды, доходящей до потребителя, определяется как качеством питьевой воды, приготавливаемой на водозаборах, так и вторичным загрязнением питьевой воды после прохождения по водоводам и разводящим сетям. Вторичное загрязнение, связанное с прохождением питьевой воды по разводящим сетям также может быть весьма значительным.

Методами атомно-абсорбционной спектрометрии и ионной хроматографии в результате масштабного исследования установлены диапазоны содержания катионов и анионов примесей в питьевой воде в конечной точке потребления по зонам исследования на всей территории г. Казани. Исследование составов питьевой воды в домах и квартирах на всей территории г. Казани показало, что в ряде зон исследования превышены приемлемые уровни канцерогенного риска по содержанию ионов свинца и хрома [1-2]. Также выявлено несоответствие по показателю физиологической полноценности: по содержание ионов магния составляет 13,49 ±0,19 мг/л и фторид-ионов 0,015 ±0,008 мг/л, что в 4 раза ниже минимального нормативного значения.

Тестирование бытовых сорбционных ионообменных фильтров показало недостаточную эффективность для снижения канце-

рогенного риска в очищенной воде до приемлемого уровня, что требует создание фильтра-минерализатора [3-4].

Известно, что происходит эффективное усвоении ионных форм, поступающих в организм водным путём. Наиболее эффективным способом коррекции ионных составов примесей, поступающих с питьевой водой к потребителям является доочистка и минерализация вод в конечной точке потребления с помощью бытовых устройств.

Для решения проблемы недостатка фтора в питьевой воде была разработана рецептура фильтрующей смеси, обеспечивающая кроме доочистки от токсичных примесей, введение фторид-ионов в доочищенную воду в профилактических концентрациях. При разработке фильтрующей смеси для доочистки маломинерализованной воды, были введены компоненты, обогащающие воду ионами фтора и магния, компоненты для селективного удаления железа, обеспечивающие сохранение значения pH воды, общего солесодержания, жесткости и щелочности. Была обоснована эффективность разработанной фильтро- минерализационной смеси, содержащей смолу КУ 2-8 ч. и активированный уголь. Концентрация фторидов в доочищенной воде соответствовала оптимальному уровню (0,25-1,0 мг/дм^3) в течение всего предполагаемого ресурса разработанного образца бытового фильтра. Выделение ионов магния в доочищенную воду снижалось в процессе испытаний в зависимости от объема полученной воды. Получаемую экспериментально концентрацию фторид-ионов и ионов магния в питьевой воде можно считать профилактической, поскольку потребление обогащенной воды в 1-4 литра в сутки позволяет организму получать от 0,40 мг до 0,72 мг фтора и от 37,76 мг до 42,7 мг магния. Учитывая поступление с пищей (0,3–1,5 мг фтора и 200 мг магния), эти значения позволяют обеспечивать физиологическую потребность организма и сохранять его микроэлементный баланс в течение длительного времени.

Разработана конструкция фильтра-минерализатора, который заменяет несколько стадий очистки и минерализацию в традиционной компоновке, что уменьшает стоимость изделия. Наличие в питьевой воде ионов металлов, обладающих канцерогенным потенци-

алом и анионов примесей требует двухступенчатой фильтрации – катионитом и активированным углем. Поэтому в фильтре имеется 2 зоны, одна из которых заполняется выбранным катионитом, вторая – активированным углем, удаляющим органические вещества и остаточный хлор. Наличие в верхней части распределительного устройства позволяет воде контактировать со всем объемом поглощающих веществ, и рецептуры минерализующих смесей, которые включают в свой состав соединения фтора и ионы магния для достижения химической безопасности и физиологической полноценности. Разработанные фильтро-минерализационные составы в 8-10 раз дешевле аналогов, представленных на потребительском рынке, а спроектированный фильтр-минерализатор позволяет обеспечить значительно более дешевую доочистку питьевой воды до уровня приемлемого риска как дорогостоящие системы многоступенчатой водоочистки с применением методов обратного осмоса, но с сохранением физиологической полноценности питьевых вод.

Список литературы

1. *Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Файзуллин Р.И., Габдрахманова Г.Н., Кузнецова О.Н.* Определение безопасных для человека концентраций катионов металлов в поверхностных источниках питьевого водоснабжения на примере г. Казани / Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. № 8. С. 115–119.

2. *Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Галимова А.Р.* Способы оценки воздействия потребляемых питьевых вод на здоровье детского населения и обоснование способов повышения их качества «Известия Самарского научного центра Российской академии наук», 2016. т. 18, № 5 (3), с. 500–504.

3. *Тунакова Ю.А., Галимова А.Р., Новикова С.В., Валиев В.С., Сафарова В.И.* Разработка подходов для доочистки питьевых вод мегаполиса (на примере г. Казани) / Вода: химия и экология, 2016, № 12, С. 10–16.

4. *Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Габдрахманова Г.Н.* Способ оценки качества доходящих до потребителей питьевых вод с позиций химической безопасности и физиологической полноцен-

ности. Сб. материалов Международной научно-практической конференции Хартия Земли – практический инструмент решения фундаментальных проблем устойчивого развития, Казань, Татарское книжное издательство, 2016. С. 378–381.

DEVELOPMENT ION – EXCHANGE FILTER -MINERALIZER AND FILTER-MINERALIZATION FORMULATIONS FOR SAFETY AND PHYSIOLOGICAL FULL VALUE OF THE DRINKING WATER

Gabdrakhmanova G.
Supervisor: Y. Tunakova, the doctor of chemistry, professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Presents the design of a filter-mineralizer and materials for targeted purification-mineralization of the drinking water on the territory of Kazan.

УДК 66

СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ МУСОРОСЖИГАТЕЛЬНОГО ЗАВОДА

Гидиятуллина И.И.
Научный руководитель: А.В. Желовицкая, канд. хим. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Приведет обзор и обоснование выбора метода термического обезвреживания твердых отходов.

За последние несколько лет население существенно увеличилось и, как следствие, возросло количество бытовых отходов [1]. Проблема вывоза мусора, утилизации бытовых отходов требует незамедлительного решения. Вариантом решения данной проблемы является строительство мусоросжигательного завода [2]. При этом одним из возможных способов обработки отходов является термическое обезвреживание отходов (сжигание) [3]. Экологические проблемы в сфере обезвреживания отходов термическим способом определяются экологическими аспектами. При термическом обезвреживании отходов к экологическим аспектам, оказывающим прямое воздействие на окружающую среду и здоровье человека, относятся: выбросы в атмосферу, сбросы сточных вод, образование отходов, сбор и хранение (накопление) обезвреживаемых отходов и реагентов, в том числе опасных. Однако общеизвестным фактом является образование отходящих газов из мусоросжигательных печей, которые содержат ароматические органические соединения, такие как диоксины, хлорфенолы, хлорбензолы, полиароматические углеводороды и другие [4–6]. Работа любого мусоросжигательного завода опасна для окружающей среды и здоровья населения в виду выброса данных веществ. В этой связи целью данной работы является изучение способов очистки выбросов мусоросжигательного завода. Актуальность данной работы заключается в нахождении оптимального способа очистки выбросов мусоросжигательного завода с целью дальнейшей защиты окружающей сре-

ды.

Согласно литературным данным [2-3] термическое обезвреживание отходов на современном уровне развития науки и техники обеспечивает практически полное разрушение находящихся в отходах органических вредных веществ.

Для очистки выбросов от печей сжигания отходов применяют полусухой каталитический способ [2]. На этапе полусухой обработки кислых компонентов, органических загрязняющих веществ, тяжелых металлов и ртути поглощаются расходными материалами (известковое молоко, активированный уголь, натрия бикарбонат) и летучей золой. Твердые продукты реакции оседают в рукавном фильтре вместе с летучей золой.

Технологическая схема процесса полусухой очистки дымовых газов состоит из полусухого абсорбера, рукавного фильтра и системы рециркуляции [2].

Твердые остатки от сжигания отходов направляются в два бункера для временного хранения. В качестве поглотителей используются известковое молоко, активированный уголь и бикарбонат натрия, которые вступают в реакцию с загрязняющими веществами в дымовых газах от сжигания, а затем в рукавных фильтрах, где происходит отделение зольной пыли. Для отделения кислых загрязняющих веществ известковое молоко распыляется в полусухом абсорбере [2]. Водная часть полностью испаряется в абсорбере, для дальнейшего исключения появления сточных вод в этом процессе. Часть удаленного остатка перерабатывается и снова вводится в поток дымовых газов выше фильтра для сокращения расходов материала. Активированный уголь вводят, чтобы адсорбировать тяжелые металлы в газообразной форме и их соединений, а также газообразные органические соединения [2].

Смесь сульфита кальция, сульфата кальция, извести, солей некоторых выделенных кислот, а так же разделенные зола могут содержать тяжелые металлы, органические загрязняющие вещества и остатки непрореагировавшего адсорбента, которые задерживаются рукавным фильтром. Бикарбонат натрия вводят в дымовые газы для устранения пиковых нагрузок от кислых загрязнителей.

Дымовые газы выходят из котла и поступают на первую сту-

пень очистки в полусухой абсорбер. За счет изменения температуры питающей воды на входе в теплообменник, температура газов на выходе поддерживается на постоянном уровне. Конструктивно верхняя часть абсорбера представляет собой спиральную камеру. В верхней части реактора создается турбулентная зона, в которой при помощи высокоэффективной системы низкого давления с двойными соплами производится впрыск известкового молока и воды [2].

Дымовые газы проходят через реактор в направлении сверху вниз в одном потоке с выпаренным известковым молоком. Высота и диаметр реактора рассчитываются таким образом, что бы при прохождении дымовых газов впрыскиваемое известковое молоко полностью испарялось, а загрязняющие вещества поглощались реагентами. В нижней части дымовые газы разворачиваются и выходят из абсорбера вертикально, поступая в рукавный фильтр [2].

Для отделения продуктов реакции и летучей золы от дымовых газов, используют рукавный фильтр, установленный ниже абсорбера. Слой продуктов на фильтрующем материале участвует во «вторичном» этапе извлечения загрязнителей. Рукавный фильтр состоит из камеры для неочищенного газа, секции очистки газа с перфорированными стенками и фильтрующими мешками, которые подвешены в камере неочищенного газа, и пневматического оборудования для удаления пыли. Остатки, после задержания рукавным фильтром, собираются в буферном баке. Поскольку эти остатки все еще содержат большое количество непрореагировавших реагентов, для повышения буферного эффекта системы и снижения потребления расходных материалов часть их подвергают переработке. В качестве среды для переработки используют очищенные от пыли дымовые газы, отбираемые за рукавным фильтром. Перенос остатков из буферного бака в перерабатывающий газ осуществляется с помощью винтового питателя. Далее к перерабатывающему потоку добавляют активированный уголь. Переработанный газ подается через канал подачи дымовых газов в рукавный фильтр. Активированный уголь вступает в реакцию остатками загрязняющих веществ в газе. При переполнении буферного бака остатки передаются в систему транспортировки остатков [2].

Анализируя литературные источники, было выявлено, что

эффективным способом для очистки выбросов от печей сжигания отходов стал термический способ обезвреживания [2-3].

Список литературы

1. *Дудникова А.Г.* Утилизация отходов – проблема социальная / А.Г. Дудникова // Твердые бытовые отходы, 2008. № 12. С. 20–24.

2. *Паульштайнер Р.* Австрийская система очистки дымовых газов / Р. Паульштайнер, М. Граф, И. Штубенволь // Твердые бытовые отходы. 2007. № 4. С. 59–63.

3. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов). – М Бюро НДТ. 2015. 258 с.

4. *Желовицкая А.В.* Окисление органических соединений с помощью гидроксид-радикала, генерируемого в растворах химическим и электрохимическим методами / А.В. Желовицкая, Е.А. Ермолаева, А.Ф. Дресвянников // Вестник Казанского технологического университета. 2008. № 6. С. 211–229.

5. *Желовицкая А.В.* Электрохимическая деструкция ароматических соединений / А.В. Желовицкая, А.Ф. Дресвянников // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 9. С. 262–266.

6. *Желовицкая А.В.* Очистка сточных вод от ароматических соединений непрямым окислением в коаксиальном бездиафрагменном электрохимическом реакторе / А.В. Желовицкая, А.Ф. Дресвянников // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 23. С. 74–77.

WAYS OF CLEANING OF EMISSIONS OF THE WASTE INCINERATION PLANT

Gidiyatullina I.
Supervisor: A. Zhelovitskaya, Ph. D of Chemistry, associate professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan)

Will provide the review and justification of the choice of a method of thermal neutralization of solid waste.

УДК 628.313:543.34

ГАЗОВЫЙ ХРОМАТОГРАФ КАК ПРИБОР КОНТРОЛЯ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Гуслярова О.А.
Научный руководитель: О.Г. Чудакова, канд. хим. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Представлены результаты литературного обзора хроматографов использующиеся для определения нефти и нефтепродуктов.

Приводиться в работе анализ хроматограмм полученных по сточным водам на газовом хроматографе.

Нефть в нашей жизни занимает очень большое значение. Ярчайший пример, который мы видим каждый день – езда автомобилей, которые используют в качестве топлива для двигателя бензин. Это топливо, как известно, производится из нефти и нефтепродуктов. Еще одним довольно ярким и популярным примером каждодневного использования можно привести использование их нефтепродуктов, таких как пластик и полиэтилен, вазелин, губная помада, жевательная резинка, аспирин, нейлон и другие. Но сейчас речь пойдет несколько о другом, в СМИ так или иначе нам передаются сообщения о том, что в какой-либо части водной глади произошла катастрофа или авария танкера с нефтью, утечка нефти или нефтепродуктов в океан, и тому подобные. Здесь уже и начинаются различные неприятности, которые ведут к умиранию и нарушению экосистем. Речь будет идти о загрязнении воды и сточных вод от нефтепродуктов и нефти и решение проблемы очистки сточных вод является актуальной. Вода на промышленных предприятиях применяется: в качестве теплоносителя в системах отопления; для охлаждения продукции и оборудования; для приготовления технологических растворов и продукции; для промывки изделий, технологических трубопроводов и емкостей; для уборки помещений и гидротранспорта.

В каждом определенном случае качество воды нормируется и является заданным. Источниками водоснабжения в основном являются водоемы и водотоки. И эту воду не обходимо подвергать очистке от взвешенных веществ, нефтепродуктов, БПКn, ХПК, сульфатидов, хлоридов, азота аммонийного, азота общего, нитратов, нитритов, кальция, магния, железа, меди. и для этого можно использовать метод флотации.

Существуют множество методов исследования сточных вод: фотометрический, гравиметрический, титриметрический, ИК-спектрометрический, потенциометрический, нефелометрический, хроматографический [1-3].

Благодаря широкому диапазону исследовательского материала, доступности, малогабаритности, пользуются всё больше и больше популярностью [4-6]. Данные анализа обрабатываются аналогово-цифровыми преобразователя представлены в удобных формах, необходимо отметить и об экспрессивности анализа.

Для нефтеперерабатывающих предприятий предлагается новый подход в исследовании сточных вод. Газовый хроматограф является недорогим малогабаритным и информационным для промстоков нефтепроизводств. Для обработки больших количеств проб можно использовать хроматографические комплексы. Проба в виде жидкости вводиться в катушку затем во внутренней цилиндрической камере испарения переводиться в газ подхватывается газом-носителем, соединенным с камерой испарения и направляется в разделительную колонку (рис. 1).

Необходимо отметить ряд преимуществ для газовых хроматографоф:

– использовать можно пробу как в жидком так и газообразном состоянии, тем самым при необходимости можно проверить содержание загрязняющих веществ в воздухе;

– использование насосов в хроматографической системе улучшает экспрессивность, тем самым сокращает время анализа пробы;

– позволяет определить даже малые количества органических составляющих в пробах, что свидетельствует о высокой точности прибора;

– удобное использование при снятии анализа пробы, тем самым оператор для проведения мсследования пробы может любой человек без специальных навыков.

– подключение хроматографической системы к компьютеру или принтеру, облегчает расшифровку данных и их передачу специалистам, например – экологам.

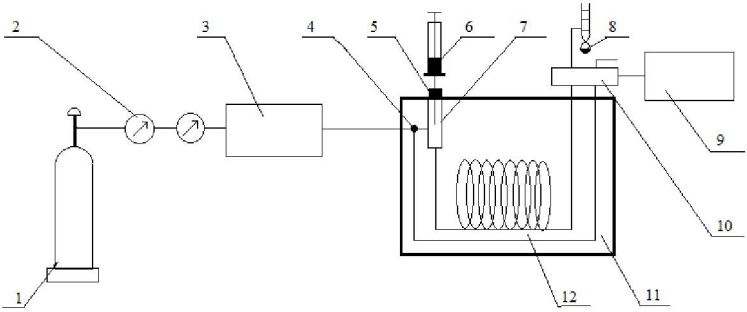


Рис. 1. Газовый хроматограф для контроля состава сточных вод.
1 – баллон с газоносителем, 2 – редукторы, 3 – дозатор,
4 – соединительный клапан, 5 – испаритель, 6 – проба,
7 – камера смешения, 8 – термометр, 9 – регистратор, 10 – детектор,
11 – термосат, 12 – хроматографическая колонка

Список литературы

1. *Yanilkin V.V., Mamedov V.A., Toropchina A.V., Kalinin A.A., Nastapova N.V., Morozov V.I., Shekurov R.P., Isaikina O.G.* Redox active surface films produced by electrooxidation of substituted indolysines // Russian Journal of Electrochemistry. 2006. Т. 42. № 3. С. 212–224.

2. *Желовицкая А.В., Дресвянников А.Ф., Чудакова О.Г.* Применение перспективных окислительных процессов для очистки сточных вод, содержащих фармацевтические препараты (обзор) // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 20. С. 73–79.

3. *Чудакова О.Г., Бескровный Д.В.* Анализ и оценка сточных вод пивоваренного производства // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 16. С. 293–295.

4. *Тунакова Ю.А., Чудакова О.Г., Галимова А.Р., Габдрахманова Г.Н.* Хроматографический анализ с использованием полидивинилбензола на содержание анионов в питьевой воде // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 1. С. 54-56.

5. *Чудакова О.Г., Желовицкая А.В., Тунакова Ю.А.* Изучение количественного и качественного состава выделений при выпекании хлебобулочных изделий на неподвижной полиметилсилоксановой фазе // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 11. С. 222-224.

6. *Хакимов А.А., Чудакова О.Г.* Хроматограф как прибор контроля сложного состава сточных вод // В сборнике: Международная молодежная научная конференция «XXII Туполевские Чтения (школа молодых ученых)» Материалы конференции. Министерство образования и науки Российской Федерации, Российский фонд фундаментальных исследований, Казанский национальный исследовательский технический университет им. АН. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ). 2015. С. 189-190.

THE GAS CHROMATOGRAPH AS THE DEVICE OF CONTROL OF SEWAGE FROM OIL AND OIL PRODUCTS

Gusliarova O.
Supervisor: O. Chudakova, Ph.D., Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

The results of the literary review of chromatographs which are used for definition of oil and oil products are presented.

To be provided in work the analysis chromatogram received on sewage on the gas chromatograph.

УДК 621:001.89, 628.313:543.34

МЕТОД ФЛОТАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Гуслярова О.А.
Научный руководитель: О.Г. Чудакова, канд. хим. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Представлены результаты литературного обзора различных видов флотаторов. Обосновывается выбранный нами метод флотации использующийся для очистки сточных вод от нефти и нефтепродуктов.

Одним из быстро исчерпаемых ресурсов является вода. Следовательно, поверхностные и подземные воды, те, что могут быть использованы в разных направлениях, например таких, как водные ресурсы, в нашей республики Татарстан не исключение, т.е это такой же лимитирующий фактор полезных ископаемых. На данный момент в Республике Татарстан используются около 6 млн. куб. м в сутки. Наше богатство заключается в 4 водохранилищах: Куйбышевское, Нижнекамское, Заинское, Карабашское, такими крупными реками как Волга и Кама (включая их притоки) А в целях потребления воды пригодной для пищи: Степной Зай, Бугульминский Зай. Всего площадь водной поверхности составляет 4,4 тыс. км^2,что составляет примерно 7 % от Татарстана.

Если верить данным с разных источников информации, то ежегодное потребление воды из Республиканских природных источников составляет уже 700 млн м^3, в этот счет свободно входят 80 % поверхностных вод, также не на много, но больше десятка подземных. Промышленность и хозяйство стоят на первом месте по снижению водопотребности.

По большей части, это обусловлено рациональностью, т.е, иначе говоря, эти деятельности с “умом используют” данное полезное ископаемое, которое в скором времени, так или иначе может закончится. К примеру снижается потеря воды, при ее транспортировке.

Скорее всего, уже в скором времени хозяйственная деятельность повысит свое водопотребление, причиной тому, вполне, может стать быстрое развитие водоснабжения во всех населенных пунктах, как в городах, так и в селах.

Но не стоит забывать и о производствах, а именно о том, что им вода нужна не меньше, сельского хозяйства, поскольку наша республика не обделена промышленными предприятиями не только в крупных городах, как например Казань или Набережные Челны, но и в городах с обхватом площади поменьше: Нижнекамск, Елабуга, так же допустим скачок в водопользовании на производственные нужды. Здесь уже и начинаются различные неприятности, которые ведут к умиранию и нарушению экосистем. Речь будет идти о загрязнении воды и сточных вод от нефтепродуктов и нефти [1]. Таким образом, решение проблемы очистки сточных вод [2-6] также актуальны на ряду с решением проблем очистки воздуха [7-9] и утилизации отходов [10-12].

Достоинствами флотации являются непрерывность процесса, широкий диапазон применения, невысокие капитальные и эксплуатационные затраты, простая аппаратура, селективность выделения примесей, большая скорость процесса, высокая степень очистки и возможность рекуперации удаляемых веществ.

Наиболее широко распространенными загрязнителями сточных вод являются нефтепродукты – не идентифицированная группа углеводородов нефти, мазута, керосина, масел и их примесей, которые вследствие их высокой точности, принадлежат к числу десяти наиболее опасных загрязнителей сточных вод.

Основными источниками загрязнения нефтью и нефтепродуктами являются добывающие и перерабатывающие предприятия, системы перекачки и транспортировки, нефтеналивные терминалы и нефтебазы, хранилища нефтепродуктов, железнодорожный транспорт, речные и морские нефтеналивные танкеры, автозаправочные комплексы и станции.

В настоящее время защита окружающей среды от нефтесодержащих сточных вод –одна из главных задач. Мероприятия, направленные на очистку воды от нефти, могут сберечь определен-

ное количество нефти и сохранить чистым, воздушный и водный бассейны.

В процессе переработки нефти получают следующие вещества: газолин, автомобильный и авиационный бензин, лигроин, керосин, дизельное топливо, мазут, смазочные масла, вазелин и многое другое.

Предлагается использовать флотатор в качестве аппарата очистки от нефте- и нефтепродуктов [13]. Благодаря своей компактности и происходящих в нем физико-химическим процессам, его можно использовать в небольшом комплексе или как дополнительный аппарат очистки на очистных сооружениях. Уникальность флотационного метода в том, что любые трудноокисляемые компоненты можно подвергнуть частичной деструкции [2,12]. Таким образом предлагаемый нами напорный флотатор может использоваться на очистных сооружениях сточные воды которых от различных пищевых производств, от молокозаводов, пивоварен, мясоперерабатывающих предприятий и других.

Список литературы

1. *Карпов В.А., Стяжкин К.К., Ковальчук Ю.Л., Михайлова О.Л., Макарова Ю.Н.* Оценка эффективности очистки почвы и воды от нефтепродуктов бактериальным препаратом «Центрин»// Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 10. С. 19-23.

2. *Желовицкая А.В., Дресвянников А.Ф., Чудакова О.Г.* Применение перспективных окислительных процессов для очистки сточных вод, содержащих фармацевтические препараты (обзор) // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 20. С. 73-79.

3. *Кулаков А.А., Мальцева С.А., Кузнецова О.Н.* К вопросу о механизме осаждения ионов меди(II) в процессе гальванокоагуляционной очистки медьсодержащих сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 21. С. 17-20.

4. *Мальцева С.А., Глебов А.Н., Лавриненко О.В.* Полиядерные, гетероядерные и гетеровалентные комплексы переходных металлов в процессах металлизации диэлектриков // Вестник Казанского гос-

ударственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2004. № 1. С. 36-43.

5. *Чудакова О.Г., Бескровный Д.В.* Анализ и оценка сточных вод пивоваренного производства// Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 16. С. 293-295.

6. *Чудакова О.Г., Желовицкая А.В., Бескровный Д.В.* Очистка сточных вод мясоперерабатывающих предприятий// Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 22. С. 182-186.

7. *Чудакова О.Г., Чижевский А.А., Лавриненко О.В.* Способ для измерения показателя загрязненности воздуха цеха от мучной пыли в хлебопекарном производстве и прибор контроля// Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 13. С. 296-298.

8. *Мингазетдинов И.Х., Григорьева И.Г., Мальцева С.А., Тунакова Ю.А.* Проектирование рациональной системы вентиляции для очистки воздуха производственных помещений от полимерной пыли// Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 5. С. 194-197.

9. *Чудакова О.Г., Желовицкая А.В., Тунакова Ю.А.* Изучение количественного и качественного состава выделений при выпекании хлебобулочных изделий на неподвижной полиметилсилоксановой фазе// Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 11. С. 222-224.

10. *Чудакова О.Г., Лавриненко О.В., Гаязова З.И.* Схема утилизации твердых отходов гипермаркета В сборнике: Материалы II Международной научной конференции "Технические науки: проблемы и перспективы" 2014. С. 75-77.

11. *Гоголь Э.В., Мингазетдинов И.Х., Гумерова Г.И., Егорова О.С., Мальцева С.А., Григорьева И.Г., Тунакова Ю.А.* Устройство для измельчения отходов полимеров// Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 10. С. 223-225.

12. *Чудакова О.Г., Бескровный Д.В.* Метантенк как аппарат для получения топлива из промышленных отходов// Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 18. С. 62-64.

13. *Мастюгин В.А.* Анализ систем очистки сточных вод автомоек с оборотным водоснабжением// Молодежь и наука. 2016. № 7. С. 129.

FLOTATION METHOD FOR SEWAGE TREATMENT FROM OIL AND OIL PRODUCTS

Gusliarova O.
Supervisor: O. Chudakova, Ph.D., Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan)

Results of the literary review of different types of flotator are presented. The flotation method chosen by us used for sewage treatment from oil and oil products is proved.

УДК 574

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Закирова Л.И.
Научный руководитель: И.Х. Мингазетдинов,
канд. техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассматривается новая схема устройства сточных вод, сочетающая в одном аппарате несколько различных процессов: центробежное разделение и флотацию. Сочетание нескольких физических процессов создает синергический эффект взаимного усиления очистки.

Промышленных сточных вод большинства производств содержат масла, нефтепродукты, взвешенные вещества. Очистку сточных вод осуществляют в несколько этапов, последовательно, используя различные методы разделения – осаждение, центробежную сепарацию, флотацию. Реализуют эти процессы в различных устройствах и аппаратах, что требует значительных материальных затрат и занимает большие производственные площади. Значительные перспективы имеет направление комбинации различных методов в одном аппарате, за счет которых возникают синергические эффекты и взаимное усиление различных физических процессов.

Предложена схема комбинированной очистки промышленных сточных вод машиностроительных предприятий, состав загрязняющих веществ которых состоит из масел, СОЖ, взвешенных веществ (металлическая стружка, абразив). Установка представляет собой цилиндрическую емкость, в центре которой коаксиально расположена труба отвода осветленной воды. В нижней части между трубой и днищем аппарата имеется свободное пространство. Вокруг трубы отвода осветленной воды в нижней части расположена камера закрутки загрязненной воды с тангенциальным подводом. Над камерой закрутки исходной загрязненной воды установ-

лен водораспределитель, состоящий из коаксиально расположенных водораспределительных труб различного диаметра с отражательными козырьками, которые образуют кольцевые каналы вокруг центральной трубы. Высота водораспределительных различная и убывает от центральной трубы к периферийным каналам. В верхней части каждого кольцевого канала установлен гидравлический завихритель в виде ряда радиальных лопастей. С наружной стороны водораспределительной камеры оборудована флотационная камера с перфорированной верхней поверхностью для барботажа, в эту полость подается сжатый воздух или другой флотоагент. Верхняя часть центральной трубы имеет водоприемную камеру с трубопроводом для отвода очищенной воды. В верхней части аппарата имеется патрубок отвода флотошлама, который сдувается пневматически. Процесс очистки воды в предложенном аппарате происходит следующим образом. Поступающая через трубопровод исходная загрязненная вода, за счет тангенциального подвода приобретает вращательное движение и, дополнительно закручиваясь на радиальных лопастях, попадает в кольцевые каналы.

Скорости жидкости изменяются по радиусу аппарата r по соотношению [1]:

$$v_т \cdot r^n = const, \quad (1)$$

где $v_т$ - тангенциальная (окружная скорость),

r - радиус аппарата каждого кольцевого канала).

Значение степени n находится в интервале 0,77–0,88. Для проектных расчетов можно принимать n=0,8.

Эффективность работы любого аппарата центробежного разделения определяется фактором разделения K_p, [2]:

$$K_p = \frac{\omega^2 \cdot r}{g} = \frac{\pi^2 n^2 r}{900g}, \quad (2)$$

где w – угловая скорость вращения,

g – ускорение силы тяжести,

n – скорость вращения объема жидкости.

В среднем, фактор разделения может составлять 500-1000.

Закрученный поток воды в каждом кольцевом канале поднимается наверх, благодаря козырькам-отражателям жидкость равномерно распределяетсяпо всему объему аппарата. Масла и нефте-

продукты, СОЖ, как более легкие фракции, остаются ближе к центру аппарата и поднимаются в верхнюю часть, а основная масса жидкости вместе с взвешенными частицами отбрасывается к наружным стенкам аппарата. Одновременно с подачей воды на очистку осуществляется подача воздуха (или другого флотоагента) в барботажную полость и пузырьки воздуха, выходя через перфорированную перегородку, поднимаются наверх, увлекая частицы загрязнителя. Очищенная от масел, СОЖ и взвешенных веществ вода поступает в нижнюю полость аппарата и через центральную трубу поступает в водосборный лоток и отводится потребителю. Предложенное устройство может быть использовано в локальных системах водоочистки, для организации замкнутых оборотных систем водоснабжения.

Список литературы

1. *Баранов Д. А.* и др. Под ред. А. М. Кутепова. Процессы и аппараты химической технологии. Явление переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование. Т. 2 // Механические и гидромеханические процессы. М. Логос. 2002 – 600 с.

2. *Кривошеин Д. А.* и др. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков //Учебное пособие. М. Высшая школа. 2003 – 344 с.

3. *Тимонин А. С.* Инженерно-экологический справочник Том 2 // Калуга – 2003. – 884 с.

4. *Мингазетдимнов И. Х.* (соавт. Закирова Л. И., Лисин Р. А., Бурова И. Д.) Устройство для центробежно-флотациооной очистки сточных вод // Заявка на изобретение № 2017110944/20(019365).

DEVELOPMENT OF THE DESIGN OF THE COMBINED PURIFICATION OF THE POLLUTED SEWAGE

Zakirova L.
Research supervisor: I. Mingazetdinov,
Candidate of Technical Sciences, professor
(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The new diagram of the device of sewage combining several different processes in one device is considered: centrifugal division and flotation. The combination of several physical processes creates synergy effect of mutual gain of cleaning.

УДК 629.039.58

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫБОРА МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Ищук Д.В., Горина Л.Н.
(Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти)

Нефтегазодобывающая промышленность относится к отраслям с повышенным техногенным риском, в силу использования большого спектра оборудования, относящегося к опасным производственным объектам. Статистика аварий в нефтегазодобывающей отрасли свидетельствует о возрастании количества аварий. На данный момент не существует методологии оценки экологических рисков в нефтегазодобывающем комплексе. Исследование различных методов оценки риска позволит определить критерии выбора методов, оценить их практическое применение при проведении анализа рисков, в зависимости от поставленных целей. Проведение комплексной оценки воздействия объектов нефтегазовой отрасли на экологическую и техносферную безопасность позволит провести практическую апробацию методов, определить их функциональное применение и рекомендовать для использования в процедуре оценки рисков.

Нефтегазовая отрасль экономики Российской Федерации является основой для формирования бюджета страны. По итогам 2014 года, поступления от нефтегазовой промышленности составили 6,81 трлн. рублей. Это 48 % всех доходов Федерального бюджета. Но в 2015 году доход от нефтегазовой промышленности составили составил 7,86 трлн рублей, что составило 43 % от доходов Федерального бюджета. Это несомненно бурно развивающаяся отрасль обеспечивающая стабильность страны, не смотря на сильное снижение цены на нефть. Специфика нефтяной промышленности состоит в наличии огромного числа наземных и подземных сооружений, протяженных коммуникаций, различного оборудования, составляющих основные фонды производства. Так же, спецификой нефтяной промышленности является динамичность и отдача капитальных вложений. Специфика нефтегазовой отрасли требует выполнения большого вида технологических операций. Такое боль-

шое количество техпроцессов влечет к возникновению аварий, инцидентов.

Это подтверждается статистикой аварий представленной в диаграммах [1].

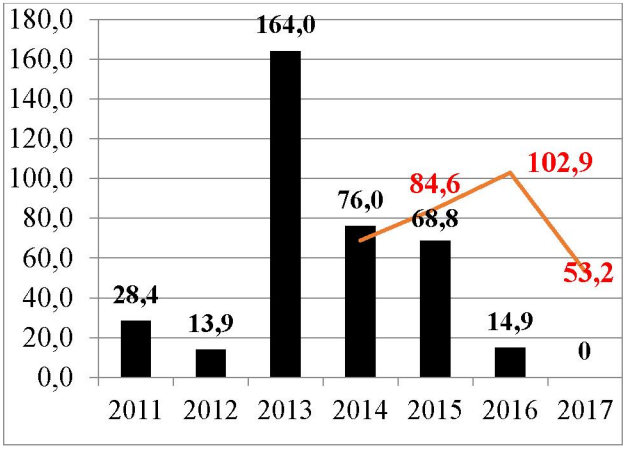


Диаграмма 1. Ущерб от аварий на объектах нефтегазодобывающего комплекса (млн руб)

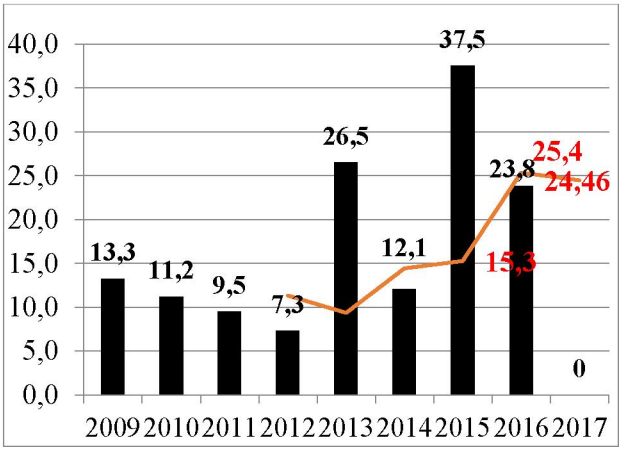


Диаграмма 2. Ущерб от аварии на объектах магистрального транспортного трубопровода (млн руб)

Так, статистические данные свидетельствуют о стабильности аварий в нефтедобывающем комплексе, в 2012 году произошло снижение количества аварий, но в 2013 году произошло резкое увеличение. Ущерб от аварий в нефтедобывающем комплексе был наибольшим в 2013 и составил 164 млн рублей в 2014, 2015 и 2016 году было замечено значительное снижение ущерба и составил 76 млн рублей, 68.8 млн рублей и 14,9 млн рублей соответственно. Так же, ущерб на объектах химического комплекса в 2015 году составил всего 6,8 млн рублей, но уже в 2016 году он составлял 791,2 млн рублей. На 2017 год ожидается снижение ущерба до 301,4 млн рублей. По статистическим данным, ущерб от аварий в магистральном трубопроводном транспорте значительно вырос, в 2012 году он составлял всего 7.3 млн рублей, но уже 2013 году вырос до 26,5 млн рублей, в 2015 ущерб составил 37,5 млн рублей. В 2016 году ущерб уменьшился до 23,8 млн рублей.

Изучив статистические данные, мы можем увидеть тенденцию повышения количества аварий и материального ущерба.

Поскольку, нефтегазовая отрасль подразумевает добычу нефти и газа на поверхности и морском шельфе, что ведет к разрыву земного пласта и отчуждению земель. При добыче, транспортировке, хранении нефти и газа возможны аварии такие как выбросы и утечки нефти, которые ведут к загрязнению воды и земного покрова. При транспортировке нефти и газа на земле необходим отвод земель. При транспортировке нефти и газа по воде возможны обширные разливы нефти заражающее и уничтожающее большое количество рыбы, птиц, кораллов, водорослей и животных. При разрыве магистрального нефтепровода происходит обширные разливы нефти, но при разрыве магистрального газопровода возможен сильный пожар. Данные классификации оборудования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Идентификация оборудования на объектах нефтегазового комплекса

Вид	Оборудование
Бурение	буровая вышка; оборудование для механизации спуско-подъемных операций; наземное оборудование; силовой привод; циркуляционная система бурового раствора
Добыча и транспортировка	Насос; компрессор; нефтепровод; наземная транспортировка;
Хранение	Наземные и подземные емкости, танкеры

Для снижения рисков необходима их оценка. Сложившейся методики в настоящее время не существует. Имеют место быть методы оценки рисков, ситуаций, явлений, инцидентов. Разработка системы комплексной оценки и методологии позволит перевести работу по оценке рисков в плановую и профилактическую.

Оценка риска – это анализ причин его возникновения и масштабов проявления в конкретной ситуации.

Для проведения оценки риска можно использовать методы, позволяющие идентифицировать причину риска, источник возникновения риска, последствия риска [2].

Проведем оценку риска с использованием трех методов: Анализ «дерева» неисправностей (FTA),

Сравним три метода оценки риска:

- Анализ «дерева неисправностей» (FTA) [3, 4].
- Древо событий [3, 5].
- Диаграмма принятия решений [3].

Для сравнения возьмем проблему «Разрыв магистрального трубопровода» [6].

Анализ «дерева» неисправностей может быть построена следующим образом:

1. Определение конечного события, которое необходимо анализировать. Им может быть отказ или более общий результат отказа. При анализе результатов, древовидная схема может содер-

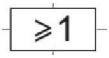
жать раздел, относящийся к уменьшению результатов фактического отказа. Определение возможных непосредственных причин или типов отказа, приводящих к конечному событию, начиная сданного конечного события.

2. Анализ каждой из этих причин (или типов отказов) для определения того, как она может быть вызвана.

3. Поэтапное выявление нежелательного функционирования системы проводится до последовательно более низких уровней системы до тех пор, пока дальнейший анализ не станет нецелесообразным. В технических системах это может быть уровень отказа отдельного компонента. События и причинные факторы на самом низком уровне анализируемой системы называют базовыми событиями.

4. Расчет вероятности конечного события, при условии, что существует возможность установить вероятности базовых событий. Чтобы количественное определение было достоверным, должна быть возможность обеспечить, что для каждого логического элемента все входные данные являются необходимыми и достаточными для наступления результирующего события. В ином случае «дерево» неисправностей неприменимо для анализа вероятности, но его применение может быть целесообразно для отображения причинных взаимосвязей.

Рис. 1. Диаграмма анализа «дерева» неисправностей



– Событие происходит в том случае, если происходит любое из составляющих событий либо в единственном числе, либо в любом из сочетаний.

Далее проведем оценку риска методом Анализ «дерева событий».

Представляет собой совокупность приемов количественных или качественных, которые используются для идентификации возможных исходов инициирующего события и, если это требуется, их вероятностей. Предполагается, что каждое событие в последовательности представляет собой либо исправность, либо неисправность.

Рис. 2. Оценка риска разрыва магистрального трубопровода методом анализа «дерева событий».

Рассмотрим оценку риска методом «Диаграмма принятия решений».

Данный метод может быть построен следующим образом:

1. Определяется цель, ради которой будет строиться диаграмма принятия решений. Прежде чем переходить к следующим шагам, необходимо убедиться, что в диаграмме принятия решений есть необходимость. Как правило, она строится, если риски неизвестны, либо если их возникновение может иметь серьезные последствия.

2. Определяются области плана работ, для которых требуется построение диаграммы принятия решений. Если план работ имеет большое количество элементов, то попытки составить диаграмму принятия решений по отношению ко всем элементам плана могут существенно усложнить задачу. Как правило, диаграмма принятия решений применяется только по отношению к наиболее рисковым областям плана. 3. Для каждого элемента плана из выбранной области выявляются потенциальные проблемы (риски).

4. По рискам принимается решение, какие из них следует перенести на диаграмму, а какие отбросить.

5. Для каждого риска определяются предупреждающие действия.

6. Аналогично ранжированию рисков выполняется ранжирование предупреждающих действий по важности.

Таблица 2

«Диаграмма принятия решений»
оценки риска разрыва магистрального трубопровода

Элементы плана		Риски	Корректирующие действия
Постройка магистрального трубопровода		Неправильный монтаж труб	Повышение квалификации рабочих. Повышенный контроль на установочных работа. Мотивация работников
Транспортировка нефти	Контроль	Плохое состояние измерительных приборов Низкий контроль качества сырья Низкая квалификация рабочих	Своевременная замена измерительных приборов Повышение контроля качества сырья Повышение квалификации экспертов

	Прочность	Низкое давление (ускоряет коррозионный *процесс) Коррозия*	Повышение частоты контроля Своевременная замена частей трубопровода

Для оценки применимости методов оценки риска на практике необходимо провести сравнительный анализ. Для проведения анализа разработаны критерии оценки:

1. Возможность детализации риск-ситуаций.
2. Определение источника риска.
3. Идентификация причин риска.
4. Оценка последствий риска.

По вышеперечисленным критериям проведем сравнительный анализ методов оценки риска. Данные представлены в таблице 3.

Таблица 3

Данные сравнительного анализа методов оценки риска

Метод	Возможность детализации риск-ситуаций	Определение источника риска	Идентификация причин риска	Оценка последствий риска
Анализ «дерева неисправностей» (FTA)	Высокий уровень детализации риск-ситуации. Отлично сочетается с другими методами оценки	Сложность правильного определения взаимосвязи исследуемой проблемы и причин если ис-	Концентрирует внимание на тех воздействиях неисправности или аварии, которые имеют непосредственное отношение к вершине событий.	Дает возможность провести содержательный анализ цепочки взаимосвязанных причин, воздействующих на проблему.

		следуемая проблема является комплексной		
Древо событий (ETA)	Помогает наглядно представить основные риск- факторы, при необходимости позволяет добавить и наглядно увидеть вероятность возникновения тех или иных инцидентов	Позволяет конкретно оценить проблему	Позволяет идентифицировать конечные события, которые иначе невозможно прогнозировать. Позволяет идентифицировать конечные события, которые иначе невозможно прогнозировать	Высокий уровень оценки возможных последствий риска
Диаграмма принятия решений	Наглядность и простота применения и понимания, легко сочетается с другими инструментами качества, дополняя их	Четкое определение источников риска	Позволяет систематизировать элементы проблемы и риски, а так же провести корректирующие действия	Не дает оценку последствий риска.

На основании проведенного сравнительного анализа методов оценки риска можно сделать следующие выводы:

1. Выбор методов зависит от объекта оценки, целей оценки риска.

2. Необходимо иметь более широкий спектр критериев оценки методов при проведении сравнительного анализа.

3. Владение методами оценки риска зависит от уровня компетенции эксперта.

Список литературы

1. http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/ [Электронный ресурс]

2. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 июня 2016 г. N228 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.consultant.ru

3. ГОСТ Р 54141-2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент рисков. Руководство по применению организационных мер безопасности и оценки рисков. Эталонные сценарии инцидентов (принят и введен в действие Приказом Росстандарта от 21.12.2010 № 887-ст) [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.consultant.ru

4. ГОСТ Р 51901.1-2002. Государственный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем [Электронный ресурс] – Режим доступа http://www.consultant.ru

5. ГОСТ Р 50806-2007. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент рисков проектов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.consultant.ru

6. Приказ об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности для опасных производственных объектов магистральных трубопроводов" от 6 ноября 2013 г. №520 «Правила безопасности для маги-

стральных трубопроводов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.consultant.ru

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF OIL AND GAS FACILITIES ON ENVIRONMENTAL AND TECHNOSPHERIC SAFETY

Ischchuk D., Gorina L.
(Togliatti State University, Togliatti)

The oil and gas industry is one of the industries with an increased man-made risk, due to the use of a wide range of equipment related to hazardous production facilities. The statistics of accidents in the oil and gas extraction industry indicate an increase in the number of accidents. At the moment there is no methodology for assessing environmental risks in the oil and gas producing complex. The study of different methods of risk assessment will allow to determine the criteria for choosing methods, to evaluate their practical application in conducting risk analysis, depending on the goals set. Conducting a comprehensive assessment of the impact of oil and gas industry facilities on environmental and technospheric safety will make it possible to conduct practical approbation of methods, determine their functional application and recommend them for use in the risk assessment procedure.

УДК 502.36

СИСТЕМА ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ ОТ ОКСИДОВ АЗОТА

Казанцева О.П.
Научный руководитель: С.М. Шавалеева, канд. хим. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, Казань)

Работа посвящена изучению очистки выбросов стекловаренной печи завода по производству стекла от оксидов азота. При рассмотрении современных наилучших из доступных технологий был выбран абсорбционный метод очистки воздуха и предложена технологическая схема, которая включает в себя тарельчатый абсорбер с ситчатыми тарелками. Произведен расчет абсорбера и описана принципиальная схема аппарата очистки. В работе использованы современные методы и средства оценки техногенной опасности содержания оксидов азота в выбросах предприятия и проведена оценка зоны риска. Также предложенная технология была оценена с точки зрения промышленной безопасности и экономической эффективности.

Объектом исследования являются оксиды азота, выбрасываемые в атмосферу при производстве стекла.

Цель данной работы направлена на снижение опасности воздействия стекловаренного производства на окружающую среду с использованием абсорбционного метода очистки выбросов от оксидов азота.

Оксиды азота попадают в атмосферу в процессе варки стекла в специализированной стекловаренной печи.

Стекловарение – это последовательность физико-химических процессов превращения смеси сырьевых материалов (шихты) в расплавленную стекломассу, готовую к формованию изделий [1]. Необходимо отметить, что данные изделия после использования по назначению, как правило, складируются на полигонах хранения отходов, оказывая дополнительное негативное воздействие на окружающую среду [2].

Технологическая карта производства стекла и его производных представлена на рисунке 1.

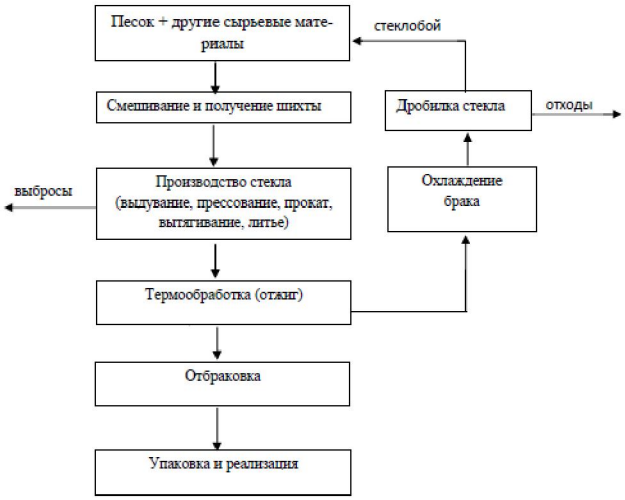


Рис. 1. Технологическая карта производства стекла

Высокое содержание в выбросах стекловаренной печи оксидов азота неблагоприятно сказывается на всем комплексе живой природы и является опасностью, связанной с человеческой деятельностью.

В данной работе проведен анализ передового отечественного и зарубежного опыта в сфере экологической безопасности в области защиты атмосферы, на основании которого предложено внедрение тарельчатого абсорбера с ситчатыми тарелками для очистки выбросов стекловаренной печи от оксидов азота в качестве основного узла очистки выбросов стекловаренного производства [3].

Технологический процесс очистки выбросов стекловаренной печи включает в себя несколько стадий:

1) подготовку выбросов к очистке;

2) очистка выбросов;

3) выгрузку, удаление и транспортирование уловленной пыли, шламов, растворов;

4) регенерацию и рекуперацию растворов, суспензий, обезвреживание, использование и размещение отходов.

Технологическая схема очистки выбросов стекловаренной печи от оксидов азота, рассмотренная в данной работе, представлена на рисунке 2.

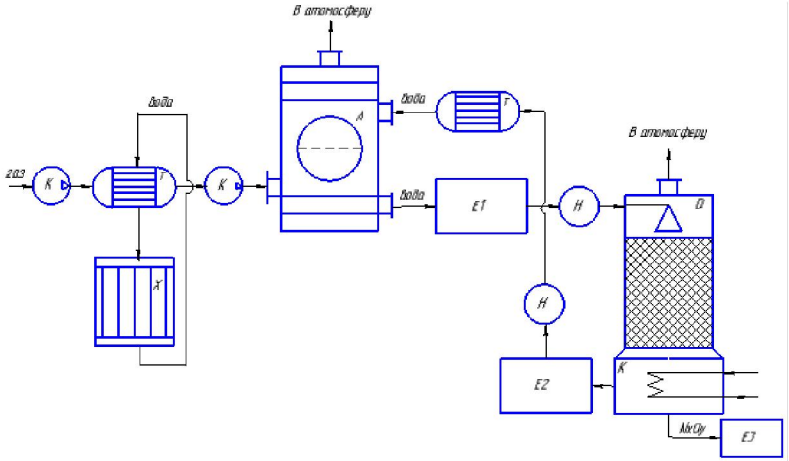


Рис. 2. Технологическая схема очистки выбросов стекловаренной печи от оксидов азота: К – компрессор, Е1, Е2 – промежуточные емкости, Е3 – емкость для азотной кислоты, Н – насосы, Т – теплообменник, А – абсорбер, Д – десорбер, Х – холодильник.

Газ на абсорбцию подается компрессором (К) в нижнюю часть колонны, где равномерно распределяется перед поступлением на контактный элемент (насадку или тарелки). Абсорбент из промежуточной емкости (Е2) насосом подается с помощью насоса (Н) и теплообменника (Т) в верхнюю часть колонны абсорбера (А) и равномерно распределяется по распределительному устройству воды для равномерной подачи воды. В колонне осуществляется противоточное взаимодействие газа и жидкости. Очищенный газ, пройдя каплеотбойник, выходит из колонны. Абсорбент стекает через гидрозатвор в промежуточную емкость (Е1), откуда насосом (Н) направляется на регенерацию в десорбер (Д). Исчерпывание поглощенного компонента из абсорбента производится в кубе (К),

обогреваемом, как правило, насыщенным водяным паром. Азотная кислота удаляется из куба в емкость (Е3) для извлечения и дальнейшего использования. Перед подачей на орошение колонны абсорбент, пройдя теплообменник-рекуператор, дополнительно охлаждается с помощью холодильника (Х). Так как сорбция происходит при низких температурах, газ необходимо остужать, для это его прогоняют через теплообменник (Т), в котором он остужается за счет воды, прогоняемой через последний [4].

Схема автоматизирована. Цель системы автоматического регулирования определяется назначением процесса: очистка газа, поступающего в абсорбер или получение готового продукта.

Основным аппаратом данной технологической схемы является абсорбционная колонна (рисунок 3).

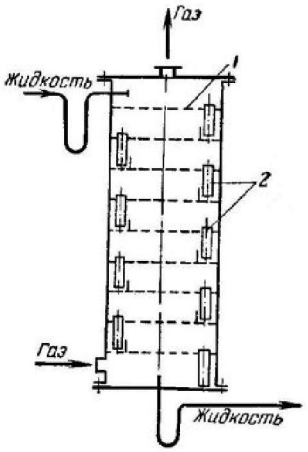


Рис. 3. Абсорбционная колонна с ситчатыми тарелками:
1 – верхняя тарелка, 2 – переливные устройства

Жидкость поступает на верхнюю тарелку 1, сливается с тарелки на тарелку через переливные устройства 2 и удаляются из нижней части колонны. Газ поступает в нижнюю часть аппарата проходит последовательно сквозь отверстия или колпачки каждой тарелки. При этом газ распределяется в виде пузырьков и струй в слое жидкости на тарелке, образуя на ней слой пены, являющийся

основной областью массообмена и теплообмена на тарелке. Отработанный газ удаляется сверху колонны [5].

Переливные трубки располагают на тарелках таким образом, чтобы жидкость на соседних тарелках протекала во взаимопротивоположных направлениях.

В ходе выполнения работы были произведены расчеты параметров абсорбционной колонны, произведена оценка экономической эффективности и эффективности с точки зрения промышленной безопасности проекта, также [6].

Список литературы

1. *Ветошкин А.Г.* Инженерная защита окружающей среды от вредных выбросов. Инженерная экология для бакалавриата. Учебное пособие. «Инфра – инженерия», Москва – Вологда 2016 – 202 с.

2. *Гуревич П.А., Шавалеева С.М., Глебов А.Н., Баянова Л.Н.* Химическая коррозия стеклобоя и отходов стеклянной тары как фактор негативного влияния на окружающую среду / Вестник КНИТУ-КХТИ, 2013, № 11, с 58

3. Информационо-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 8 – 2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях», 2015. – 116

4. *Страус В.* «Промышленная очистка газов» / Пер. с англ. М.: Химия, 2005.

5. *Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрябин Г.М.* Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности. Л.: Химия, 2001.

6. *Кирсанов В.В.* Промышленная и экологическая безопасность: практикум / В.В.Кирсанов: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. – 211 с.

THE CLEANING SYSTEM OF THE GLASS-MAKING FURNACE EMISSIONS FROM NITROGEN OXIDES

Kazantseva O.

Supervisor: S. Shavaleeva, PhD of Chemistry
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)*

This work is devoted to the study of the cleaning system of the glass-making furnace emissions from nitrogen oxides. By consideration of the best modern available technologies the absorbing method has been chosen and the technological scheme of emissions cleaning is offered. This scheme includes the dish-shaped absorber with mesh plates. Calculation of the absorber is made and the schematic diagram of the cleaning device is described. The modern methods and means of an assessment of technogenic danger of maintenance of nitrogen oxides in emissions of the enterprise are used and the risk zone assessment is carried out in work. Also the assessment of the offered technology from the point of view of industrial safety and economic efficiency is carried out.

УДК 66.067.8.09

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Кузнецова Ю.Н., Денисова А.Е.
Научный руководитель: А.А. Кулаков, канд. биол. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Представлены данные о возможности очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью гальванокоагуляции. Показано, что этот метод может быть успешно использован для эффективного извлечения из сточных вод ионов многих загрязнений.

Одной из серьезных проблем производства является утилизация отходов и, в частности, очистки производственных сточных вод от токсических веществ, среди которых соединения тяжелых металлов – одни из наиболее токсичных. Существует множество способов очистки таких сточных вод. Это реагентные, электрохимические [1–3], мембранные, ионообменные методы.

Особый интерес представляют методы, использующие гальванокоагуляцию [3, 4]. Основным достоинством этого метода является относительная дешевизна, низкие энергозатраты, использование отходов производства (железной и алюминиевой стружек, а также кокса). В то же время, как показано в [3, 4], степень очистки является вполне удовлетворительной. Суть гальванокоагуляционного метода заключается в том, что сточные воды пропускаются через гальванопару, образованную анодом (железо или алюминий в виде стружки) и коксом или углем, являющимся катодом. В водном растворе эта гальванопара образуется в смеси, и при этом происходит окисление металлической стружки и переход ионов железа или алюминия в раствор. При этом среда защелачивается, и ионы тяжелых металлов переходят в гидроокиси и выпадают в осадок. Особый интерес представляет использования в качестве стальных стружек, так как гидроокись железа, оседая, увлекает за собой и

соединения тяжелых металлов, в результате чего получается осадок, который может служить присадкой в металлургическом производстве, т.е. ценные металлы возвращаются опять в производство.

Мы исследовали осаждание ионов никеля и меди в пульсационном гальванокоагуляторе. Было показано, что за 2 часа осаждается до 80–95 % ионов никеля и меди. При этом скорость осаждения вначале высокая, и экспоненциально спадает со временем. При этом большая часть осадка образуется в первые 30 минут гальванокоагуляции. Более подробно об этом см. [4]. Этим можно воспользоваться для того, чтобы окончательную очистку проводить с помощью, например, ионного обмена.

Таким образом, было показано, что гальванокоагуляционный метод очистки является вполне конкурентноспособным методом для очистки сточных вод от соединений тяжелых металлов.

Список литературы

1. *Кулаков А. А., Чудакова О. Г., Ахметова Р. А.* Использование метода электрокоагуляции для очистки сточных вод от никеля. // В сб: XIV Всероссийская конференция – школа «Химия и инженерная экология» 27 июня 2014. С. 4

2. *Кулаков А.А., Фаттахова Г.Ф., Ахметова Р.А., Гришагина Е.С.* Применение гальванокоагуляции для очистки сточных вод гальванических производств // В сб: XIV Всероссийская конференция – школа «Химия и инженерная экология» 27 июня 2014. С. 13-14.

3. *Кулаков А.А., Тунакова Ю.А.* Использование пульсационной гальванокоагуляции для очистки сточных вод производства химических волокон // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 11. С. 225–227.

4. *Кулаков А.А., Мальцева С.А., Кузнецова О.Н.* К вопросу о механизме осаждения ионов меди (II) в процессе гальванокоагуляционной очистки медьсодержащих сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 21. С. 17–20.

THE STUDY GALVANOCOAGULATION OF SEWAGE TREATMENT FROM IONS OF HEAVY METALS

Kuznetsova Yu., Denisova A.
Supervisor: A. Kulakov, Candidate of Biosciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Presents the possibilities of wastewater treatment from heavy metal ions using galvanocoagulation. It is shown that this method can be successfully used for the effective separation of wastewater ions of many contaminants.

УДК 620.92.(075.8)

РАЦИОНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

Лисин Р.А, Бурова И.Д.
Научный руководитель: И.Х. Мингазетдинов,
канд. техн. наук, профессор,
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, г. Казань)

Ветроэнергетика является одной из важнейших видов альтернативной энергетики. Рассматривается новое решение конструкции ветрогенератора, в котором ветровой поток последовательно преобразуется в несколько различных принципов механической энергии с регулированием ветрового потока.

Актуальным вопросам энергетики является поиск и разработка альтернативных видов, вместо традиционных видов, основанных на сжигании углеводородных энергоносителей (уголь, нет, газа и др.)

Ветроэнергетические установки находят широкое применение, наряду с другими видами альтернативных энергетических систем. Наибольшее распространение получили пропеллерные ветроустановки с горизонтальной осью вращения, диаметр рабочего колеса которых достигает 100 метров, для увеличения снимаемой мощности. Это связано с большими материальными затратами и вызывает проблемы, обусловленные механической прочности лопастей.

Предложена схема ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения [см. №136100, бюл. №36 от 27.12.2013 г.], на которой последовательно расположен Ротор Савониуса, коническое лопастное колесо аэродинамический пропеллер. Для увеличения реализуемой мощности по окружности ротора Савониуса расположены конфузорные сопла, установленные тангенциально к окружности ротора. Это позволяет увеличить площадь захвата воздушного потока, называемого ометаемой площади. Конфузорность

сопел позволяет значительно увеличить скорость набегающего потока. Для увеличения коэффициента полезного действия воздушного потока, попавшего в пространство ротора Савониуса, предусмотрены подвижные задвижки в конфузорных соплах, которые, в зависимости от направления воздушного потока перекрывают сопла с подветренной стороны, увеличивая воздушный поток, направляемый в верхнюю часть ротора. Вследствие такого регулирования значительно возрастает К.П.Д. установки.

Применение предложенной схемы может найти применение для фермерских хозяйств и для получения необходимой электроэнергии.

Список литературы

1. *Абдрахманов Р.С., Назмеев Ю.Г., Якимов А.В.* Об эффективности использования ветроэнергетики в регионах РФ с умеренными скоростями ветра // Изв. РАН. Энергетика. – 2001. – N 5. – С. 93-102. – Библиогр.: 10 назв.

2. *Аверин А.А.* Повышение эффективности энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей с использованием ветродизельной установки: автореф. дис. ... канд. техн. наук / ЧГАУ. – Челябинск, 2009. – 23 с.

УДК 504.4.054

СИСТЕМА БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Лотфуллина Э.Р.
Научный руководитель: Г.И. Гумерова, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Работа посвящена изучению очистки сбросов фенолсодержащих сточных вод, образующихся при производстве бисфенола-А. Предложена технологическая схема очистки сточных вод предприятия органического синтеза, которая включает в себя узел биологической очистки, состоящий из аэротенка-смесителя и вторичного отстойника. Описана принципиальная схема главного аппарата. Предложенная технология очистки была оценена с точки зрения промышленной безопасности и экономической эффективности.

Объектом исследования является фенол, сбрасываемый в поверхностные воды в составе сточных вод предприятия органического синтеза при производстве бисфенола А

Цель данной работы направлена на снижение опасности воздействия предприятия органического синтеза на окружающую среду с использованием биохимических методов очистки сточных вод от фенолов.

Фенол попадает в сточные воды в процессе производства бисфенола-А.

На рисунке 1 указана технологическая линия производства бисфенола -А. Изначально по кумольным методом получают фенол и ацетон. Далее методом конденсации фенола с ацетоном получают бисфенол-А. При производстве фенола совместно с ацетоном по кумольному методу образуются побочные продукты, концентрирующиеся в кубовом остатке, в состав которого как раз таки и входит фенол [1].

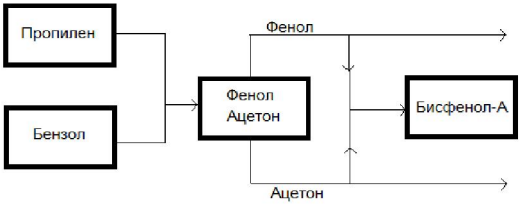


Рис. 1. Технология производства бисфенола-А

Фенолы являются высокотоксичными соединениями, оказывающие негативное влияние на живые оргазмы. Сброс фенольных вод в водоемы и водотоки резко ухудшает их общее санитарное состояние, также вносит значительные изменения в режим биогенных элементов и растворенных газов (кислорода, углекислого газа).

В ходе данной работы был проанализирован передовой отечественный и зарубежный опыт в сфере экологической безопасности в области защиты гидросферы. На основании чего было предложено внедрение аэротенка-смесителя в качестве основного узла биохимической очистки сточных вод предприятия органического синтеза [2].

На рисунке 2 представлена технологическая схема очистки сточных вод предприятия органического синтеза. Исходный химический сток поступает в усреднитель. Проходя через вертикальные лотки стоки с разной концентрацией веществ поступают в сборочный диагональный лоток, тем самым усредняя концентрации веществ. Для более эффективного перемешивания стоков в усреднитель подается воздух. Через диагональный сборочный лоток усредненный сток поступает в смеситель-нейтрализатор, где вода нейтрализуется с помощью серной кислоты, которая подается в смеситель-нейтрализатор с расходной емкости серной кислоты. После нейтрализации вода через станцию перекачки поступается в первичный отстойник, где отстаиваются грубо дисперсные минеральные примеси и части органических загрязнений, находящихся во взвешенном состоянии под действием силы тяжести до осветление. Осветленная вода смешивается с биогенными добавками в смесителе, после чего подается в первый коридор трехкоридорного

аэротенка-смесителя с регенерацией. Также в первый коридор поступает активный ил. Для повышения эффективности очистки во всех коридорах осуществляется аэрация. Пройдя третий коридор аэротенка иловая смесь поступает во вторичный отстойник, где происходит отстаивание активного ила и дальнейшее разделение компонентов иловой смеси. Очищенная вода сбрасывается в водоем, ил поступает в иловую камеру. После чего активный ил снова подается в аэротенк. На выходе из системы очистки сточной воды в водоем осуществляется пробоотбор для дальнейшего анализа на соответствие установленным нормативам.

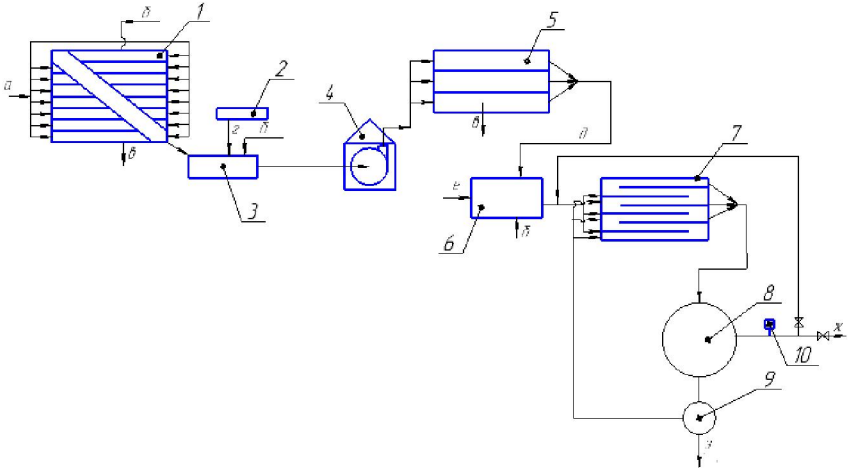


Рис. 2. Технологическая схема очистки сточных вод:
1 – усреднитель, 2 – расходные ёмкости серной кислоты,
3 – смеситель-нейтрализатор, 4 – станция приема и перекачки,
5 – первичный горизонтальный отстойник, 6 – смеситель сточной воды и биогенных добавок, 7 – аэротенк-смеситель с регенератором,
8 – вторичный отстойник, 9 – иловая камера; 10 – пробоотбор,
а – исходный химсток, б – воздух, в – шлам, г – серная кислота,
д – осветленный химсток, е – биогенные добавки, ж – очищенная вода,
з – избыточный ил.

Основным аппаратом в данной технологической схеме является аэротенк-смеситель, представленный на рисунке 3.

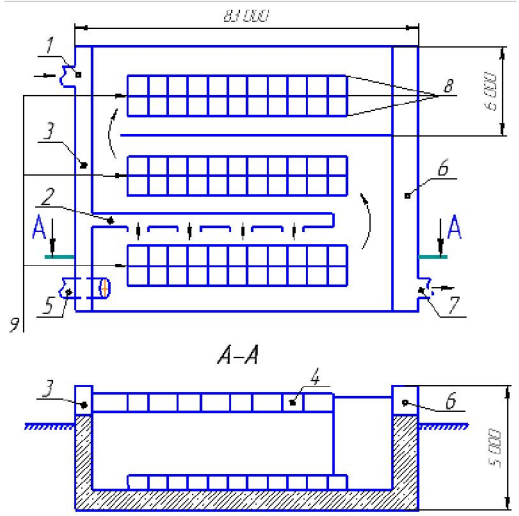


Рис. 3. Трехкоридорный аэротенк-смеситель
1 – проводящий трубопровод (исходный сток),
2 – распределительный лоток, 3 – верхний канал (исходный сток),
4 – выпуски, 5 – трубопровод подачи активного ила, 6 – нижний канал
(очищенная вода), 7 – отводящий трубопровод к вторичному отстойнику,
8 – фильтросные каналы, 9 – воздухопровод

Осветленная вода поступает от первичного отстойника по трубопроводу и распределяется по верхнему каналу. Оттуда вода поступает в распределительный лоток. Через выпуски исходный сток поступает в первый коридор. Сюда же подается активный. В первом коридоре происходит регенерация активного ила. Здесь представление фильтросные канала, сюда через воздухопровод подается воздух. Далее проходя через коридоры осуществляется перемешивание. Иловая смесь поступает в нижний канал, после чего отводится через трубопровод к вторичному отстойнику.

При помощи комплекса аналитического вольтамперометрического СТА, работа которого основана на методе инверсионной вольтамперометрии, было проведено экспериментальное определение концентрации модельных проб, имитирующих содержание фенола в сточных водах предприятия органического синтеза на выхо-

де из системы очистки[3].

В процессе выполнения работы произведены расчеты параметров аэротенка-смесителя, экономической эффективности проекта, также произведена оценка эффективности технологической схемы очистки с точки зрения промышленной безопасности [4].

Список литературы

1. *Безмозгин Э. С.* Термокаталитические методы переработки углеводородного сырья, Министерство нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР, Всесоюзный научно-исследовательский институт нефтехимических процессов; Ленинград : Химия, Ленинградское отделение , 1969 .– 262

2. Информационо-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 8 - 2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях», 2015 . – 116

3. МУ 08-47/189 «Вода природная, питьевая, технологически чистая, очищенная сточная. Вольтамперометрический метод измерения массовых концентраций фенола». Томск

4. *Кирсанов В.В.* Промышленная и экологическая безопасность: практикум / В.В. Кирсанов: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. – 211 с.

BIOCHEMICAL SEWAGE TREATMENT SUSTEM OF CHEMICAL PRODUCTION

Lotfullina E.
Supervisor: G. Gumerova, c.t.s.
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)*

Work is devoted to the study discharge treatment of phenolic wastewater generated in the production of bisphenol-A. The proposed technological scheme of wastewater treatment enterprises of organic synthesis, which includes a host of biological treatment, consisting of aeration tank-mixer and a secondary settler. The described a schematic diagram of this unit. The technol-

ogy of purification was estimated from the point of view of industrial safety and economic efficiency.

УДК 504.064.36

СТРУКТУРА ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА НА ТЕРРИТОРИИ Г. НИЖНЕКАМСК И Г. КАЗАНЬ

Магдеева А.Р., Шагидуллин А.Р., Гилязова А.Ф.
(Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань)

Проведены расчеты объемов загрязняющих веществ поступающих в атмосферу г. Нижнекамска и г. Казани с выхлопными газами автотранспорта. Основную массу выбросов приходится на диоксид углерода, оксиды азота и углеводороды. Наиболее высокие приземные концентрации формируются диоксидом азота и оксидом углерода.

Автомобиль является источником загрязнения в городе, где воздух не только обедняется по содержанию кислорода, но и загрязняется вредными компонентами отработавших газов.

Вместе с выхлопными газами автомобилей в окружающую природную среду поступают оксиды углерода, оксиды азота, бенз(а)пирен, летучие углеводороды.

Усиливающийся процесс автомобилизации сопровождается ростом техногенной нагрузки на окружающую среду, что влечет за собой снижение уровня экологической безопасности регионов и проживающего в них населения.

В связи с вышеизложенным в настоящее время актуальными являются количественные оценки выбросов автотранспорта с целью контроля загрязнения атмосферного воздуха веществами и примесями выхлопов автотранспорта, а также планирование мероприятий, направленных на снижение выбросов автотранспорта, и прогнозирование будущих уровней загрязнения атмосферы.

Нижнекамск – третий по численности город Республики Татарстан. Нижнекамск является городом с преобладающим поступлением загрязняющих веществ от стационарных источников. Однако, влиянием автотранспортного комплекса на состояние атмосферного воздухане следует полностью пренебрегать, т.к. уличнодорожная сеть примыкает к зонам жилой застройки.

Казань – индустриально-развитый город с разветвленной улично-дорожной сетью, на территории которого размещаются предприятия химической, машиностроительной и других отраслей. Казань является одним из крупнейших транспортных и логистических узлов России.

В данной работе была использована методика «Инвентаризация выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух. Метод расчета выбросов вредных (загрязняющих) веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов», разработанная ОАО «НИИАТ» [1]. На сегодняшний день методика не является согласованной иутвержденной, поэтому используется исключительно в научно-исследовательских целях.

Исходными данными для расчета являлись результаты исследования характеристик транспортных потоков на основных улицах городов в периоды максимальной транспортной нагрузки [2], [3]. Расчеты приземных концентраций загрязняющих веществ выполнялись с использованием программы «Эколог-Город», разработанной ООО «Фирма «Интеграл», которая реализует методику расчета рассеивания примесей ОНД-86 [4]. При проведении расчетов оценивались максимальные разовые концентрации загрязняющих веществ.

Согласно полученным результатам расчетов, общая масса выбрасываемых автотранспортом загрязняющих веществ на территории г. Нижнекамск составляет 3004,01 тонн/год. Наибольшую долю по массе в общей сумме веществ имеет оксид углерода – 75,3 %, доля диоксида азота – 9,81 %. Полученная масса выбросов загрязняющих веществ автотранспортом на территории г. Казань почти в 3 раза больше, чем на территории г. Нижнекамск, и составляет – 20255,90 тонн/год. Здесь, как и в предыдущем случае, основная масса выбросов приходится на оксид углерода (77,02 %) и диоксид азота (8,32 %). Полученные суммарные выбросы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта

Наименование	г. Нижнекамск	г. Казань

вещества	Макс. разовый выброс, г/с	Валовый выброс, тонн/год	Макс. разовый выброс, г/с	Валовый выброс, тонн/год
Азота диоксид	22,40	294,79	128,29	1685,72
Аммиак	1,46	19,16	12,02	157,88
Азота оксид	3,65	47,90	20,85	273,93
Сажа	0,77	10,13	3,65	48,01
Сера диоксид	0,23	3,06	1,66	21,80
Углерод оксид	173,10	2274,51	1187,25	15600,43
Метан	1,76	23,11	6,74	88,54
1,3-бутадиен	0,35	4,65	2,41	31,63
Бензол	1,19	15,59	8,76	115,05
Ксилол	1,93	25,36	14,18	186,27
Стирол	0,12	1,58	0,84	11,04
Толуол	2,20	28,89	16,21	213,06
Бенз/а/пирен	$3,1*10^{-5}$	$4,1*10^{-5}$	$2,61*10^{-4}$	$3,43*10^{-3}$
Акролеин	0,09	1,14	0,55	7,20
Ацетальдегид	0,31	4,10	1,61	21,15
Формальдегид	0,58	7,62	3,69	48,46
Бензин	16,42	215,82	123,20	1618,88
Керосин	2,02	26,60	9,65	126,86
Сумма:	228,58	3004,01	1541,55	20255,90

Результаты расчетов рассеивания примесей, проведенные на основе результатов инвентаризации выбросов, на территории г. Нижнекамск демонстрируют следующую картину: наибольшие значения приземных максимальных концентраций при неблагоприятных метеоусловиях способны формировать диоксид азота, оксид углерода, а также аммиак, ксилол, формальдегид. Максимальные приземные концентрации диоксида азота (2,44 ПДК) и оксида углерода (1,1 ПДК) наблюдаются на территориях примыкающих к улицам Пр. Строителей, Пр. Химиков, ул. Гагарина,

ул. Спортивная. Максимальные приземные концентрации ксилола достигают 0,34 ПДК, формальдегида 0,32 ПДК в районах улиц Пр. Химиков и Гагарина. Концентрации аммиака могут достигать 0,29 ПДК на территориях, прилегающих к улицам Пр. Строителей, Пр. Мира, Пр. Химиков, ул. Гагарина. Следует отметить, что указанные здесь и далее величины расчетных приземных концентраций соответствуют комбинации наиболее неблагоприятных метеоусловий (учитываемых в рамках расчетной модели) и пикового режима выбросов автотранспорта.

Согласно результатам расчетов рассеивания примесей на территории г. Казань наибольшие приземные концентрации при неблагоприятных метеоусловиях так же, как и в предыдущем случае, формируются диоксидом азота, аммиаком, оксидом углерода, ксилолом и формальдегидом. Максимальные приземные концентрации диоксида азота на территории города могут достигать 6,90 ПДК. Наибольшие концентрации могут формироваться на территориях, прилегающих к улицам Пр. Победы, Ак. Арбузова, Н. Ершова, Вишневского, Ф. Амирхана, Ленинская дамба, мост Миллениум. Концентрации аммиака могут достигать 0,81 ПДК в районе улиц Пр. Победы, Ак. Арбузова, Н. Ершова, Вишневского, Ленинская дамба. На территориях, примыкающих к улицам Пр. Победы, Ак. Арбузова, Н. Ершова, Вишневского, Ф. Амирхана, Ленинская дамба, мост Миллениум, Кировская дамба, Сибирский тракт, Оренбургский тракт максимальные полученные концентрации оксида углерода составляют значение 2,86 ПДК. Приземные концентрации ксилола могут достигать 0,91 ПДК в районе улиц Пр. Победы, Н. Ершова, Вишневского, Ленинская дамба, Ак. Арбузова, формальдегида – 0,86 ПДК – улицы Пр. Победы, Н. Ершова, Вишневского. Результаты расчета максимальных приземных концентрацийпредставлены в таблице 2.

Таблица 2

Максимальные приземные концентрации веществ в зоне воздействия выбросов автотранспорта

Наименование вещества	Максимальная концентрация в зоне воздействия выбросов (ПДК)	
	г. Нижнекамск	г. Казань

Азота диоксид	2,44	6,90
Аммиак	0,29	0,81
Азота оксид	0,20	0,55
Сажа	0,13	0,20
Сера диоксид	0,02	0,04
Углерод оксид	1,10	2,86
Метан	0,00	0,00
1,3-бутадиен	0,00	0,01
Бензол	0,14	0,30
Ксилол	0,34	0,91
Стирол	0,10	0,21
Толуол	0,13	0,34
Бенз/а/пирен	0,13	0,34
Акролеин	0,07	0,22
Формальдегид	0,32	0,86
Бензин	0,13	0,31
Керосин	0,06	0,05

Таким образом, основную массу выхлопных выбросов автомобилей г. Нижнекамск и Казань составляют оксид углерода, диоксид азота, аммиак, толуол, бензол, ксилол и т.д. Выбросы на территории г. Казань значительно выше чем в г. Нижнекамск вследствие большой концентрации транспорта. Наиболее значимыми примесями являются диоксид азота и оксид углерода. При неблагоприятных метеоусловиях их концентрации в зоне влияния интенсивных магистралей могут в несколько раз превышать максимальные разовые значения ПДК.

Список литературы

1. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в

атмосферный воздух. М., ОАО «НИИАТ». 2008. 64 с.

2. Отчет по государственному контракту №15 МЭ – 18с от 19.06.2015 г. "Оценка и прогноз негативного техногенного воздействия Нижнекамского промышленного узла на состояние окружающей среды и здоровье населения с целью управления экологическими рисками в условиях интенсификации промышленного производства" // Казань: ИПЭН АН РТ, 2015. – 407 с.

3. Ведение сводного тома предельно допустимых выбросов в атмосферу г. Казани. Отчет по государственному контракту № 15 МЭ-28с от 05.10.2015 г. Казань: ИПЭН АН РТ, 2015. 264 с.

4. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 93 с.

STRUCTURE OF EMISSIONS OF MOTOR VEHICLES ON THE TERRITORY OF THE CITY OF NIZHNEKAMSK AND KAZAN

Shagidullin A., Magdeeva A., Gilyazova A., Amiryanova G.
(Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan)

The amounts of pollutants emitted with vehicle exhaust gases in Nizhnekamsk and Kazan were calculated. The bulk of the emissions are carbon dioxide, nitrogen oxides and hydrocarbons. The highest ground level concentrations are formed by nitrogen dioxide and carbon monoxide.

УДК 579.695; 546.85; 502.55; 661.63

О РАЗЛОЖЕНИИ БЕЛОГО ФОСФОРА МИКРООРГАНИЗМАМИ

Миндубаев А.З., Сахапов И.Ф.
(Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН, г. Казань)

Расчет показал, что концентрация содержащихся в модифицированной среде Придхем-Готлиба солей переходных металлов слишком мала для осуществления абиотического диспропорционирования вносимого в нее белого фосфора. Следовательно, говорить о биодеградации есть основания. Очень большой интерес представляет исследование генотоксичности – возможного источника мутаций.

Наши более ранние публикации [1] посвящены микробиологическому превращению токсичнейшего элементного (белого) фосфора в биогенный фосфат. Фактически, выполненная нашим коллективом работа является первым задокументированным примером усвоения искусственного ксенобиотика белого фосфора биосферой. Тем не менее, биодеградация иногда приводит к образованию не менее, а более токсичных веществ, так называемых «летальных метаболитов». Некоторые из них обладают генотоксичностью, приводящей к росту числа мутаций и возникновению онкологических заболеваний. Поэтому, исследование биодеградации ксенобиотиков должно сопровождаться тестированием на генотоксичность.

Осуществляя микробиологический посев, мы впервые применили стерилизацию белого фосфора ацетоном. В шленк с навеской белого фосфора (0.95 г) влили 20 мл ацетона и выдержали 15 мин при перемешивании (ручное взбалтывание) без нагрева. Слив ацетон и не дожидаясь его испарения, влили в шленк 50 мл дистиллированной воды, стерилизованной автоклавированием. Затем приготовили 2 % эмульсию белого фосфора в этой воде (ультразвуковая ванна Сапфир (Россия), 30 мин, 50 °С, аргон). Эмульсию смешивали со средой без источников фосфора в соотношении

2:18 мл, в результате получалось по 20 мл среды с содержанием P_4 0.2 %. Посев произвели на следующий день. Приблизительно через 12 суток культура *A. niger* AM1 достигла стадии зрелости.

Генотоксичность белого фосфора определялась при помощи теста Эймса, по методике, описанной в работе [2]. SOS-lux тест был выполнен, как описано в работе [3].

Проведенный нами расчет показал, что в используемых культуральных средах белый фосфор присутствует в избытке относительно переходных металлов от одного до четырех порядков. Белый фосфор реагирует с ионами меди в молярном соотношении 9:40 (т.е., при избытке меди), а содержание пятиводного сульфата меди в среде Придхем-Готлиба настолько мало (0.1 г/л, при среднем объеме среды в чашке Петри 20 мл), что даже при минимальной использованной нами концентрации белого фосфора 0.001 % по массе, его молярное содержание в 25 раз выше. Поэтому он не может целиком прореагировать с ними, по крайней мере, за короткий срок. Следовательно, бóльшая часть его взаимодействует с клетками микроорганизмов. Этот факт, наряду с аргументами, полученными нами ранее, свидетельствует в пользу метаболизма белого фосфора. При максимальной концентрации P_4 1 % его содержание в молях превышает содержание медного купороса уже в 25000 раз, т.е. белый фосфор не может полностью прореагировать с двухвалентной медью. К тому же, при комнатной температуре P_4 реагирует только с ионами меди. Поэтому значительная его часть обезвреживается все-таки микроорганизмами.

Одной из серьезнейших проблем, с которой мы до сих пор сталкивались, производя посевы микроорганизмов в среды с белым фосфором, было отсутствие эффективного метода стерилизации последнего. На кафедре биохимии КФУ был предложен метод стерилизации P_4 в мягких условиях, без применения высоких температур. Для этого навеска ксенобиотика должна погружаться на 15 минут в липофильный органический растворитель (микробиологи используют 70 % этанол, ацетон либо хлороформ), который легко проникает через гидрофобные оболочки микробных спор и умерщвляет их. Однако, сам белый фосфор растворим в большинстве органических растворителей. Мы предпочли пользоваться

ацетоном по причине сравнительно низкой растворимости в нем белого фосфора: при 25 °С в литре ацетона растворяется всего 1.4 г P_4, тогда как в литре значительно менее полярного хлороформа при той же температуре растворяется 25 г данного вещества. К тому же, ацетон не нужно смешивать с водой до нужной концентрации, как этанол. Встряхивая навеску белого фосфора в ацетоне при комнатной температуре, мы наблюдали незначительное ее растворение. Поскольку в низких концентрациях ацетон легко усваивается микроорганизмами в качестве источника углерода, переходя далее к процедуре эмульгирования белого фосфора ультразвуком, мы не стремились удалять остатки ацетона из шленка с навеской. В контрольных средах рост отсутствовал даже спустя 117 дней, они остались прозрачными без опалесценции и взвесей [4]. Это указывает на то, что стерилизация навесок P_4 ацетоном эффективна.

В Токсикологическом профиле белого фосфора за 1997 год [5] сообщается об отсутствии генотоксичности данного вещества. Тест проводился на пяти ауксотрофных штаммах сальмонеллы TA1535, TA1537, TA1538, TA98 и TAl00, и не выявил увеличение частоты мутаций. Мы, совместно с кафедрой генетики КФУ, решили проверить эти данные, начав с проведения спот-теста (от англ. spot – пятно) – варианта теста Эймса для качественного определения генотоксичности.

Первые же тестирования показали, что среда очень токсична для *S. typhimurium* TA1535 и TA1538. Они погибают в этой среде даже при ее разбавлении питательным мясным бульоном до 90 %. В течение 1 часа плотность популяции падает с 2.47×10^8 клеток/50 мкл до 10 клеток/50 мкл. Это высокий показатель токсичности. При разбавлении бульоном до 50 % через час исходная плотность популяции упала до 4×10^5 клеток/50 мкл.

Но при внесении капли среды объемом 10 мкл в чашку Петри с посевом сальмонеллы, генотоксичность не наблюдается.

При внесении в чашку с посевом капли большего объема (50 мкл), в месте падения капли образуется пятно мертвых клеток. Несмотря на то, что капля растекается по дну чашки в круг диаметром 1 см, гибель клеток наблюдается только в месте ее падения. Круги из мутантных клеток, специфичные для теста Эймса, в

нашем случае вокруг капли не образовались.

Предположительно, такая картина наблюдается в связи с нерастворимостью белого фосфора в воде. Он попадает в среду вместе с каплей локально, но не растекается по чашке вместе с ней. В норме, в случае растворимых веществ, вокруг упавшей капли образуется круговая зона подавления, в которой бактерии не растут. Она тем шире, чем токсичнее вещество.

Спустя еще 45 суток провели второй повтор спот-теста. В качестве положительного контроля выступал известный мутаген этилметансульфонат. Спот-тест на генотоксичность не показал мутагенной активности раствора белого фосфора, в то время как этилметансульфонат дал характерный рисунок распределения мутантных колоний вокруг точки нанесения мутагена.

При разбавлении среды бульоном до концентрации 10 % снижение жизнеспособности сальмонелл не наблюдается, т.е. достигнута субвитальная концентрация. При инкубировании в среде штамма TA1535 в течение 1 часа число мутантов изменилось с 1.19±0.29, до 1.310±0.28. Различия недостоверны. При инкубировании в ней штамма TA1538 в течение 1 часа число мутантов не выросло, а упало с 10.09±0.81 до 9.0±0.72. В позитивном контроле с мутагеном 2.4-динитрофенилгидразином их число выросло до 22.5±3.1. То есть, генотоксичность у нашей культуральной среды с белым фосфором и его метаболитами, отсутствует [6].

В оценке мутагенных и антимутагенных свойств белого фосфора с помощью SOS-lux теста, в качестве контроля использовался сильный мутаген, противоопухолевый антибиотик митомицин С. Помимо митомицина С, в качестве позитивного контроля использовался другой сильный ДНК повреждающий агент – пероксид водорода. Несмотря на сходный эффект, механизмы мутагенного действия этих веществ различны. Если митомицин С образует аддукты с азотистыми основаниями ДНК, то перекись водорода является окислителем и оказывает разрушительное воздействие на большинство органических веществ, в том числе и нуклеиновые кислоты.

По сравнению с перекисью белый фосфор оказался слабым ДНК повреждающим агентом (рис.). Здесь, однако, следует внести

поправку. Концентрация H_2O_2 в эксперименте составляла 0.03 %, а концентрация белого фосфора 62.5 мкг/мл соответствует 0.00625 %. То есть, концентрация P_4 была меньше в 4.8 раза по сравнению с концентрацией перекиси. Поскольку более высокие концентрации белого фосфора оказывают губительное влияние на сальмонелл, достоверно оценивать их генотоксичность сложно. Хотя можно предполагать, что с ростом концентрации ДНК повреждающая активность P_4 должна только возрастать. То есть, следует говорить не о низкой генотоксичности белого фосфора, а о том, что его общая токсичность для клеток намного выше, чем его генотоксичность. Наибольшей силы SOS ответ достигает через 6-8 часов после начала эксперимента, поэтому все последующие измерения мы проводили через это время (6 часов после внесения культуры сальмонелл в лунку планшета).

Так, в контроле интенсивность люминесценции составила 10026 ОСЕ, в присутствии белого фосфора (100 мкг/мл) до 12590, а в позитивном контроле с антибиотиком составила 45186 ОСЕ. То есть, ДНК повреждающая активность белого фосфора оказалась слабой, но достоверной, и это при разбавлении среды (изначально содержавшей 0.2 % P_4) до 5 % [7]. При более высоких концентрациях белого фосфора его токсические свойства проявляются сильнее.

Проведенный нами расчет показал, что в используемых культуральных средах белый фосфор присутствует в избытке относительно переходных металлов от одного до четырех порядков. Поэтому он не может целиком прореагировать с ними, по крайней мере, за короткий срок. Следовательно, бóльшая часть его взаимодействует с клетками микроорганизмов. Этот факт, наряду с аргументами, полученными нами ранее, свидетельствует в пользу метаболизма белого фосфора.

Обнаружение у белого фосфора генотоксических свойств не является неожиданностью. Тем не менее, в более ранних работах генотоксичность у P_4 обнаружена не была. Возможно, это результат недостаточной глубины исследования: до сих пор генотоксичность белого фосфора определялась только тестом Эймса, который всегда показывал отрицательный результат. Судя по всему, мы

первые применили для этой цели SOS-lux тест, который также определяет генотоксичность, но не по косвенному признаку, как тест Эймса, а по прямому – повреждению ДНК. И этим методом генотоксичность была продемонстрирована.

Список литературы:

1. Миндубаев *А.З., Волошина А.Д., Валидов Ш.З., Яхваров Д.Г.* Биодеградация белого фосфора // Природа. 2017. № 5. С. 29–43.

2. *Mortelmans K.* The Ames Salmonella/microsome mutagenicity assay / K. Mortelmans, E. Zeiger // Mutation Research. 2000. Vol. 455. No. 1-2. P. 29–60.

3. *Cooper D.L., Lovett S.T.* Toxicity and tolerance mechanisms for azidothymidine, a replication gap-promoting agent, in *Escherichia coli // DNA Repair* (Amst). – 2011. – Vol. 10. – No. 3. – P. 260–270.

4. *Миндубаев А.З., Волошина А.Д., Валидов Ш.З.* Развитие культуры Aspergillus niger AM1 в среде с двумя источниками фосфора. Эффективность стерилизации белого фосфора ацетоном // Экологический вестник Северного Кавказа. 2017. Т. 13. № 1. С. 47–54.

5. Toxicological profile for white phosphorus // U.S. Department of health and human services. USA. 1997. p. 248.

6. *Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Волошина А.Д., Валидов Ш.З., Кулик Н.В., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Аккизов А.Ю., Яхваров Д.Г.* Оценка генотоксичности белого фосфора. Развитие бактериальной культуры в среде с фосфитом калия в качестве единственного источника фосфора // Бутлеровские сообщения. 2016. Т. 47. № 7. С. 1–20.

7. *Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Волошина А.Д., Сахапов И.Ф., Кулик Н.В., Валидов Ш.З., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Аккизов А.Ю., Яхваров Д.Г.* Генотоксичность белого фосфора // Бутлеровские сообщения. 2017. Т. 49 № 1. С. 1–20.

ON THE WHITE PHOSPHORUS DEGRADATION BY MICROORGANISMS

Mindubaev A., Sakhapov I.
(A.E. Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry of Kazan Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Kazan)

The calculation showed that the transition metal salts concentration in the modified Pridhem-Gottlieb medium is too small for abiotic disproportionation of white phosphorus introduced in it. Hence, there is reason to talk about biodegradation. It is of great interest to study the genotoxicity – a possible source of mutations.

УДК 614.8

ЭКОЛОГИЧНОСТЬ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В ЖКХ

Минсафин Р.Р.
Научный руководитель: Н.Е. Данилина
(Институт машиностроения)

Актуальность проекта обусловлена целью энергетической политики России – максимально эффективному использованию природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций [4].

Целью проекта является проведение анализа энергопотребления в системе ЖКХ г.о. Тольятти и разработка мероприятий по энергосбережению.

В процессе исследования нами были решены следующие задачи: изучение нормативно-правовой литературы, проведение анализа энергопотребления на общедомовые и квартирные нужды на примере типового блочного дома, разработка мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности.

Нами были рассмотрены и предложены комплексы мероприятий по тепло- и электросбережению для типовых домов: установка в подъездах и на придомовой территории светильников со светодиодами, реагирующих на инфракрасный свет, установка многотарифных счётчиков, отказ от потребления электроэнергии в пиковый период, при этом потребитель должен получать льготный тариф на электроэнергию. К мероприятиям по теплоэнергосбережению относятся: установка цифровой платформы по контролю и учёту теплоэнергопотребления в домах, установка теплосберегающих окон (например, с покрытием стекла тонким слоем ионов серебра) и контролируемых систем вентиляции. Главным, разработанным нами документом, является «Энергетический паспорт дома». Он позволит наладить контроль потребления энергоресурсов.

Разработанная авторами система критериев энергопотребления включает: уровень оснащённости приборами учёта электро- и теплоэнергии, динамику изменения объёмов используемых энергетических ресурсов по месяцам и годам, наличие светильников со светодиодами в подъездах, наличие автономного отопления (пересчёт на фактическую температуру окружающей среды теплоэнергоснабжения при эксплуатации автономной котельной), наличие многотарифных счетчиков электроэнергии в квартирах, наличие теплосберегающих окон в квартирах и подъездах, оценку теплоизоляции подъездов (наличие трещин, швов, пустот), оценку эффективности работы вентиляционной системы (санитарно-гигиеническая чистка в течение года), наличие аварий в течение года на тепловых и электрических сетях[1, 2, 3].

Ежегодное заполнение паспорта общественным советом дома, сдача его в управляющую компанию, выполнение мероприятий по тепло- и электросбережению должны привести к снижению тарифов на тепло- и электропотребление.

Таблица 1

Анализ энергопотребления типового пятиэтажного дома

Техническая характеристика дома	Энергопотребление за 5 лет									
	Теплопотребление, Гкал					Электропотребление, кВт.ч				
	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
Пяти этажный, четырёх- подъездный дом	1080	1043	984	910	854	139200	125000	119564	109950	104400

Таблица 2

Форма экологоэнергетического паспорта

Наличие светильников со светодиодами	Наличие автономного отопления	Наличие многотарифных счётчиков электро-	Наличие пластиковых окон

		энергии в квартирах, %	В квартирах, %	В подъездах
-	-	20%	90%	+

Таблица 3

Продолжение экологоэнергетического паспорта

Эффективность работы вентиляционной системы (санитарно-гигиеническая чистка в течение года)	Наличие тепловых квартирных счетчиков	Капитальный ремонт дома, год	Теплоизоляция подъездов (наличие трещин, швов, пустот и др.)	Наличие аварий
Проводилась	-	2014	Отсутствие трещин, швов, пустот и др.	-

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 13 августа 2006 г. № 491 «Об утверждении правил содержания общего имущества в многоквартирном доме и правил изменения размера платы за содержание и ремонт жилого помещения в случае оказания услуг и выполнения работ по управлению, содержанию и ремонту общего имущества в многоквартирном доме ненадлежащего качества и (или) с перерывами, превышающими установленную продолжительность» [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.consultant.ru.

2. Постановление Правительства РФ от 17 сентября 2014 года № 3467-п/1 «Об утверждении муниципальной программы «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности в городском округе Тольятти на 2014-2016 гг.» [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.consultant.ru.

3. Федеральный закон № 261 – ФЗ «Об энергосбережении и

о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.consultant.ru.

4. Энергетическая стратегия России до 2030 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.consultant.ru.

УДК 628.313:543.34

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЛЬТРА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД БАССЕЙНА

Мирхайдаров А.Ф.
Научный руководитель: О.Г. Чудакова, канд. хим. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Представлены результаты внедрения фильтра в химико-механическую очистку сточных вод бассейна.

С развитием промышленного сектора все чаще возникает вопрос об очищении производственных сточных вод, а также утилизации отходов производства. К сожалению, практически ни одно предприятие не может не производить отходы и не может предотвратить образование сточных вод. Ещё несколько лет назад при проектировании производства учитывалось образование сточных вод, а также их дальнейшую утилизацию и фильтрацию (очистку) [1]. Обычно всё решалось простым способом: сточные воды по трубопроводу сбрасывали на ближайшее место или же в водоёмы. Легко представить, что последствия таких выбросов сточных вод были удручающими с нарушением состояния экосистемы. Таким образом, решение проблемы очистки сточных вод [2–6] также актуальны на ряду с решением проблем очистки воздуха [7–9] и утилизации отходов [10–12].

Предлагаемая схема относится к химико-механической очистке сточных вод. Принцип работы заключается в следующем; сточная вода поступает в емкость 1, оттуда по трубопроводу поступает в отстойник 2, в отстойник происходит осаждение взвешенных и твердых веществ и шлама, которые удаляются в шламонакопитель 3. После отстойника сточная вода поступает в фильтр очистки с зернистой загрузкой 5, на участке трубопровода между отстойником и фильтом подается флокулянт. После фильтра сточная вода поступает в резервуар 6 очищенной воды.

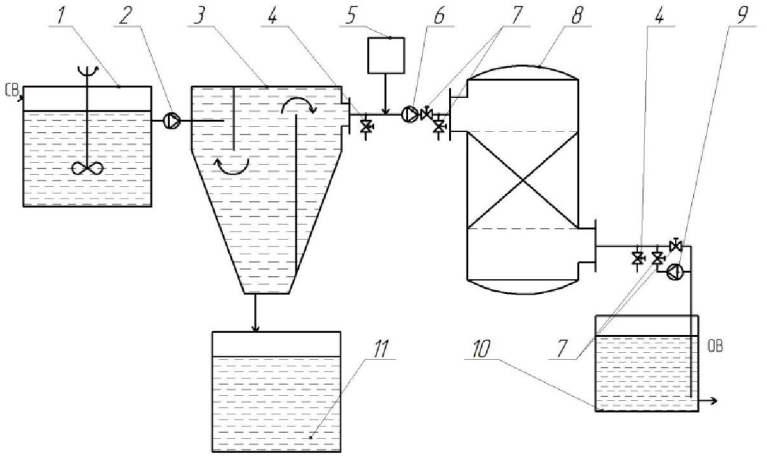


Рис. 1. Химико-механическая очистка сточных вод:
СВ – сточная вода; ОВ – очищенная вода.
1 – емкость; 2, 6 – циркуляционный насос; 3 – песколовка;
4 – вентиль отбора проб; 5 – подача флокулянта; 7 – вентиль;
8 – фильтр; 9 – промывочный насос; 10 – емкость очищенной воды;
11 – шламонакопитель

Список литературы

1. *Хакимов А.А., Чудакова О.Г., Желовицкая А.В.* Эффективность очистных сооружений больших городов // В сборнике: Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности Международная научно-практическая конференция. 2014. С. 675-676.

2. *Чудакова О.Г., Бескровный Д.В.* Анализ и оценка сточных вод пивоваренного производства // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 16. С. 293–295.

3. *Чудакова О.Г., Желовицкая А.В., Бескровный Д.В.* Очистка сточных вод мясоперерабатывающих предприятий // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 22. С. 182–186.

4. *Мальцева С.А., Глебов А.Н., Лавриненко О.В.* Полиядерные, гетероядерные и гетеровалентные комплексы переходных ме-

таллов в процессах металлизации диэлектриков // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2004. № 1. С. 36–43.

5. *Кулаков А.А., Мальцева С.А., Кузнецова О.Н.* К вопросу о механизме осаждения ионов меди(II) в процессе гальванокоагуляционной очистки медьсодержащих сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 21. С. 17–20.

6. *Желовицкая А.В., Дресвянников А.Ф., Чудакова О.Г.* Применение перспективных окислительных процессов для очистки сточных вод, содержащих фармацевтические препараты (обзор) // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 20. С. 73–79.

7. *Мингазетдинов И.Х., Григорьева И.Г., Мальцева С.А., Тунакова Ю.А.* Проектирование рациональной системы вентиляции для очистки воздуха производственных помещений от полимерной пыли // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 5. С. 194–197.

8. *Чудакова О.Г., Чижевский А.А., Лавриненко О.В.* Способ для измерения показателя загрязненности воздуха цеха от мучной пыли в хлебопекарном производстве и прибор контроля // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 13. С. 296–298.

9. *Чудакова О.Г., Желовицкая А.В., Тунакова Ю.А.* Изучение количественного и качественного состава выделений при выпекании хлебобулочных изделий на неподвижной полиметилсилоксановой фазе // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 11. С. 222–224.

10. *Гоголь Э.В., Мингазетдинов И.Х., Гумерова Г.И., Егорова О.С., Мальцева С.А., Григорьева И.Г., Тунакова Ю.А.* Устройство для измельчения отходов полимеров // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 10. С. 223–225.

11. *Чудакова О.Г., Бескровный Д.В.* Метантенк как аппарат для получения топлива из промышленных отходов // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 18. С. 62–64.

12. *Чудакова О.Г., Лавриненко О.В., Гаязова З.И.* Схема утилизации твердых отходов гипермаркета В сборнике: Материалы II Международной научной конференции «Технические науки: проблемы и перспективы» 2014. С. 75–77.

USE OF THE FILTER FOR SEWAGE TREATMENT OF THE POOL

Mirkhaydarov A.
Supervisor: O. Chudakova, Ph.D., Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan)

Results of introduction of the filter are presented to chemical and mechanical sewage treatment of the pool.

УДК 628.313:543.34

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ВОД БАССЕЙНА (ОБЗОР)

Мирхайдаров А.Ф.
Научный руководитель: О.Г. Чудакова, канд. хим. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Представлены результаты литературного обзора спектрофотометров которые имеют возможность не только измерять взвешенные частицы но и определять ряд других загрязнителей.

Скорее всего, уже в скором времени хозяйственная деятельность повысит свое водопотребление, причиной тому, вполне, может стать быстрое развитие водоснабжения во всех населенных пунктах, как в городах, так и в селах [1].

Но не стоит забывать и о производствах, а именно о том, что им вода нужна не меньше [2–7], сельского хозяйства [8], поскольку наша республика не обделена промышленными предприятиями не только в крупных городах, как например Казань или Набережные Челны, но и в городах с обхватом площади поменьше: Нижнекамск, Елабуга [9], так же допустим скачок в водопользовании на производственные нужды.

Положительно взглянуть, на оборотные и повторно-последовательные системы водоснабжения позволяет их значительный рост, составляющий, как известно, больше 100 млн $м^3$ в год.

Предлагается прибор для контроля за мутностью воды и возможностью ее вторичного использования, так как их на рынке появляется с каждым днем все больше и больше были выделены достоинства и недостатки каждого. Данный обзор позволяет использоватьподходящий прибор для анализа конкретногопроизводства пивоваренного, молочного, мясопромышленного, нефтеперерабатывающего, строительной индустрии, хлебопекарном деле, очистке питьевой воды и многих других отраслях.

Таблица 1

Обзор спектрофотометров

Тип прибора	Применение	Достоинства/ Недостатки
Спектрофотометр ПУ5400-Уф	Экологический контроль (вода, воздух, почва), контроля качества питьевой воды, технологического контроля сырья и готовой продукции раз личных отраслей промышленности	Пределы до пускаемой абсолютной погрешности спектрофотомет ров при измерении спек тральных коэффициентов направленного пропускания менее ±0,5 %Т (315-1000 нм) и ±1 %Т (190-315 нм). Возможность работы в УФ диапазоне (от 190 нм). Увеличенное кюветное от деление позволяет устанавливать 6 кювет шириной 10 мм (европейский стандарт) длиной оптического пути до 50 мм. Значение оптической плотности не зависит от положения кюветы в кюветодержателе Возможность использования кювет с небольшой клиновидностью Программная установка длины волны. Автоматическая установка темнового тока при смене длины волны.
Спектрофотометр V/UV-12	предназначеннный для измерения отношений двух потоков оптического излучения, один из которых — поток, па дающий на исследуемый образец, другой — поток, испытавший то или иное взаимодействие с образцом.	Кюветодержатель для 4-х кювет шириной 10 мм (европейский стандарт) дли ной оптического пути от 5 до 50 мм. Значение оптической плотности не зависит от положения кюветы в кюветодержателе Возможность использования кювет с небольшой клиновидностью, для удобства пользователя предусмотрена возможность расположения кюветв шахматном порядке без ухудшения метрологических характеристик
Спектрофо-	Позволяет производить измерения	В качестве источников УФ-излучения используются качествен-

тометр СФ-2000	для различных длин волн оптического излучения, соответственно в результате измерений получается спектр отношений потоков. Обычно используется для измерения спектров пропускания или спектров отражения излучения.	ные дейтериевые лампы Hamamatsu (Япония), а в канале видимого света - галогеновые лампы Philips, которые пре дельно просто меняются. А использование источников из комплекта ЗИП исключает необходимость оптимизации положения лампы (юстировки).

Список литературы

1. *Хакимов А.А., Чудакова О.Г., Желовицкая А.В.* Эффективность очистных сооружений больших городов // В сборнике: Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности Международная научно-практическая конференция. 2014. С. 675-676.

2. *Чудакова О.Г., Желовицкая А.В., Бескровный Д.В.* Очистка сточных вод мясоперерабатывающих предприятий // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 22. С. 182–186.

3. *Гоголь Э.В., Мингазетдинов И.Х., Гумерова Г.И., Егорова О.С., Мальцева С.А., Григорьева И.Г., Тунакова Ю.А.* Устройство для измельчения отходов полимеров // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 10. С. 223–225.

4. *Желовицкая А.В., Дресвянников А.Ф., Чудакова О.Г.* Применение перспективных окислительных процессов для очистки сточных вод, содержащих фармацевтические препараты (обзор) // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 20. С. 73–79.

5. *Чудакова О.Г., Бескровный Д.В.* Анализ и оценка сточных вод пивоваренного производства // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 16. С. 293–295.

6. *Чудакова О.Г., Бескровный Д.В.* Метантенк как аппарат для получения топлива из промышленных отходов // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 18. С. 62–64.

7. *Чудакова О.Г., Желовицкая А.В., Тунакова Ю.А.* Контроль содержания кислорода при аварийном спуске сточных вод кисломолочного производства // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 5. С. 144-145.

8. *Тунакова Ю.А., Чудакова О.Г., Галимова А.Р., Габдрахманова Г.Н.* Хроматографический анализ с использованием полидивинилбензола на содержание анионов в питьевой воде // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 1. С. 54–56.

9. *Кирсанов В.В., Чудакова О.Г.* О систематизации профилактической работы по повышению эффективности производственных систем опасных объектов // В сборнике: Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности Международная научно-практическая конференция. 2014. С. 599–601.

SPEKTROFOTOMETRICHESKY DEVICES FOR THE ANALYSIS OF WATERS OF THE POOL (REVIEW)

Mirkhaydarov A.
Supervisor: O. Chudakova, Ph.D., Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan)

Results of the literary review of spectrophotometers which have an opportunity not only to measure the weighed particles but also to define some other pollutants are presented.

УДК 504.3.054

СИСТЕМА ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В ЗОНЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Назмутдинова Н.М.
Научный руководитель: О.С. Сибгатуллина
(Казанский национальный исследовательский технический университет - КАИ им. А.Н. Туполева, Казань)

Работа посвящена изучению способов и технологий по очистке выбросов зоны технического обслуживания автотранспортных предприятий.

В работе рассматриваются вопросы очистки воздуха АТП от оксидов углеродов при помощи адсорбционного метода.

Предложена технологическая схема по очистке воздуха в зоне технического, обслуживания автотранспортного предприятия, которая включает в себя вентиляторы, рукавный фильтр, огнепреградитель, адсорбер, десорбер. Произведен расчет параметров основного очистного устройства - адсорбера.

Объектом исследования является выбросы оксида углерода, источником поступления которого в атмосферный воздух является деятельность зоны технического обслуживания автотранспортного предприятия.

Цель: минимизация техногенного воздействия на атмосферный воздух путем уменьшения концентрации оксидов углерода в зоне технического обслуживания автотранспортного предприятия, используя адсорбционные методы очистки воздуха с последующим контролем исходного и остаточного содержания оксида углерода для оценки опасностей деятельности зоны технического обслуживания автотранспортного предприятия.

Загрязнение окружающей среды стационарными источниками на транспорте происходит от производств, обеспечивающих ремонт транспортных средств, вспомогательных производств, зданий и сооружений хозяйственно-бытового назначения (котельных, вокзалов, экипировочных устройств, топливных складов), мест

стоянок транспорта [1].

Газообразные выбросы попадают в воздух в результате работы производственных вентиляционных систем. Отличительной особенностью этих выбросов является наличие в них большого количества минеральной и органической пыли, аэрозолей, масляного тумана.

Системы удаления выхлопных газов позволяет удалять 100 % выхлопных газов непосредственно от выхлопной трубы автомобиля, не давая газам и копоти попадать в помещение, что в свою очередь снижает затраты на ремонт помещений.

Известно четыре основных метода очистки воздуха от газообразных примесей:

1) метод абсорбции;

2) метод хемосорбции;

3) метод адсорбции;

4) метод термической нейтрализации.

В предлагаемой системе по очистке воздуха, основным методом является адсорбция.

Процесс адсорбции происходит на поверхности твердого пористого тела – адсорбента, где ненасыщенные поверхностные силы вступают во взаимодействие с силовыми полями адсорбируемых молекул [2].

При адсорбции возможны очень большие скорости поглощения и полное извлечение компонентов, выделение которых путем абсорбции было бы невозможно из-за их малой концентрации в смеси.

Преимущества адсорбции:

1) широкий диапазон поглощаемых компонентов;

2) возможность очистки газов с небольшой концентрацией примесей;

3) высокая эффективность очистки;

4) возможность автоматизации процесса [2].

Описание технологической схемы: исходная смесь подается в адсорбер (Ад) вентиляторами (В), одна из которых резервный, чтобы при внеплановом отключении адсорбера не прекращалось удаление вредных паров из помещения.

Согласно ведомственным указаниям по противопожарному проектированию предприятий ВУПП-88, учитывая взрывоопасность угольной пыли (при использовании в качестве адсорбента активных углей), требуют использования специальных устройств, предотвращающих возможность возникновения взрывов и пожаров. С этой целью перед подачей в адсорбер смесь проходит через рукавный фильтры (Ф) и огнепреградитель (Ог) с предохранительными мембранами.

Отработанный адсорбент поступает в десорбер (Д). Процесс десорбции проводится в основном двумя методами. В данной схеме предусмотрена регенерация адсорбента десорбцией перегретым паром. Из десорбера адсорбент пневмотранспортом возвращается в адсорбер. Воздух, используемый для пневмотранспорта и подаваемый вентилятором, подсушивает и охлаждает адсорбент.

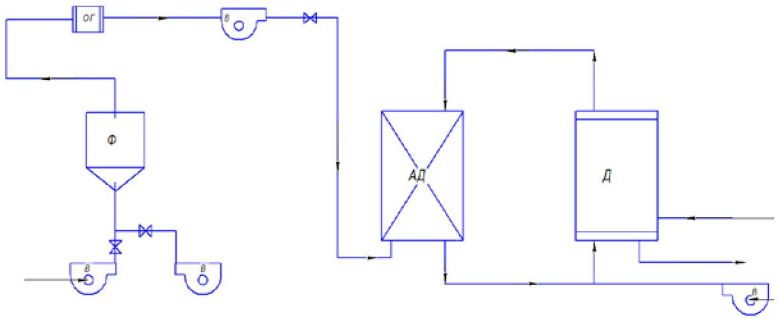


Рис. 1. Технологическая схема очистки

Через нижний патрубок 5 подается загрязненный воздух для очистки, а через верхний патрубок 8 подается адсорбент (тороидальное сетчатое устройство в виде замкнутой конструкции, соответствующий размерам шнека) на шнек 4. За счет вращательных движений адсорбент опускается вниз, а загрязненный воздух поднимется противотоком на встречу к адсорбенту. Загрязняющие вещества поглощаются адсорбентом. Отработавший адсорбент выводится из адсорбера через 9 и отправляется на десорбцию для повторного его возвращения на адсорбцию, что позволяет делать процесс не прерывным. Очищенный от загрязнений воздух выво-

дится через патрубок 6.

Такой способ организации устройства адсорбера позволяет сделать процесс очистки воздуха от ЗВ непрерывным. За счет изменения числа винтовых поверхностей дает возможность регулировать габариты устройства, регулировать время адсорбции, что в свою очередь влияет на качество очищаемого воздуха. Также использование адсорбента в виде тороидального сетчатого устройства, обеспечивает возможность, быстрой его замены при потери его адсорбционных свойств.

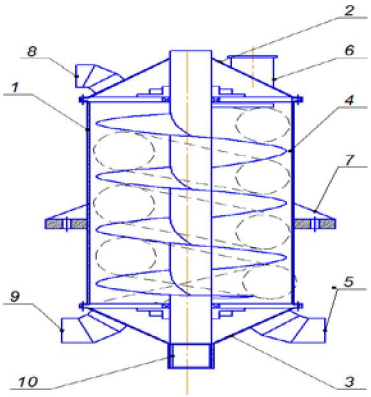


Рис. 2. Адсорбер:
1 – корпус; 2 – крышка; 3 – днище; 4 – шнек; 5 – патрубок подачи воздуха на очистку; 6 – патрубок отвода очищенного воздуха; 7 – опора; 8 – патрубок подачи адсорбента; 9 – патрубок отвода отработанного адсорбента;10 – шлиц

Рассмотрена технологическая линия автотранспортного предприятия с точки зрения техногенной опасности для атмосферного воздуха. На большинстве предприятий уже существует линия очистки, поэтому внедрение рассмотренных технологий экономически нецелесообразно. Рассмотрев передовой отечественный и зарубежный опыт в области обеспечения экологической безопасности при помощи ИТС 22-2016, было решено, для повышения эффективности очистки и повышения техногенной безопасности предприятия предложить усовершенствование основного узла тех-

нологической схемы очистки. Адсорбционный метода был выбран, как основной метод очистки воздуха на АТП. Выбор метода основывался на требованиях к уровню очистки воздуха, эффективностью, производительностью и экономической целесообразностью. В качестве адсорбента гранулированный активный уголь, так как он является самым эффективным, надежным, обладает высокой селективностью, экономичен.

Для АТП предложена технологическая схема очистки от загрязняющих веществ, в которую входит вентиляторы, фильтры, огнепреградитель, адсорбер, десорбер. Для данной технологической схемы предложен адсорбер, который благодаря своему конструкторскому сооружению, дает возможность повысить уровень очистки воздуха, регулировать время процесса очистки, экономить площадь, занимаемую очистными сооружениями.

Список литературы

1. *Ветошкин А.Г., Таранцева К.Р.* Технология защиты окружающей среды (теоретические основы). Учебное пособие. / Под ред. доктора технических наук, профессора, академика МАНЭБ и АТП РФ А.Г. Ветошкина – Пенза: Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2004. – с.: ил., библиогр. 246 с.

2. *Кирсанов В.В.* Современные технико-технологические методы защиты окружающей среды. Т.II.Процессы и аппараты защиты атмосферы. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та,2014. – 568 с.

3. *Дытнерский Ю.И.* Процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов, 1995. –389 с.

4. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 22-2016. Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. Москва: Бюро НДТ. – 212 с.

AIR PURIFICATION SYSTEM IN THE MAINTENANCE AREA OF A TRUCKING ENTERPRISE

Nazmutdinova N.
Supervisor: O. Sibgatullina
(*Kazan National Research Technical*
University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The research paper aims to study emission purification technologies and methods of motor transport enterprises' (MTE) maintenance area. The project considers the air purification of MTEs from carbon using the adsorption method.

A technological scheme of air purification in the MTE maintenance area was proposed, which includes ventilators, a bag filter, a fire prevention device, an adsorber, a desorber. The parameters of the main purification device - adsorber - were calculated.

УДК 502.36

СИСТЕМА ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ ОТ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

Нурмухаметова А.А.
Научный руководитель: С.М. Шавалеева, канд. хим. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, Казань)

В данной работе изучена система очистки выбросов стекловаренной печи завода по производству стекла от твердых частиц. При рассмотрении современных наилучших из доступных технологий был выбран механический метод очистки воздуха и предложена технологическая схема, которая включает в себя пылеуловитель с рукавным тканевым фильтром, произведен расчет фильтра и описана принципиальная схема аппарата очистки. В работе использованы современные методы и средства оценки техногенной опасности содержания твердых частиц в выбросах предприятия и проведена оценка зоны риска. Также проведена оценка предложенной технологии с точки зрения промышленной безопасности и экономической эффективности.

Объектом исследования являются твердые частицы и взвешенные вещества, выбрасываемые в атмосферу при производстве стекла.

Цель данной работы направлена на снижение опасности воздействия стекловаренного производства на окружающую среду с использованием механического метода очистки выбросов от твердых частиц и взвешенных веществ.

Твердые частицы и взвешенные вещества попадают в атмосферу в процессе варки стекла в специализированной стекловаренной печи. Высокое содержание в выбросах стекловаренной печи твердых частиц и взвешенных веществ, неблагоприятно сказывается на всем комплексе живой природы и является опасностью, связанной с человеческой деятельностью.

Технологическая линия производства стекла включает в себя стадии подготовки сырья, смешивания и получения шихты, варки

стекломассы, формования стеклоизделия, отжига, в результате чего получаются готовые изделия [1]. Необходимо отметить, что после использования по назначению данные изделия, особенно стеклянная тара, оказывают дополнительное негативное воздействие на окружающую среду [2].

В данной работе проведен анализ передового отечественного и зарубежного опыта в сфере экологической безопасности в области защиты атмосферы, на основании которого предложено внедрение пылеуловителя с рукавным тканевым фильтром в качестве основного узла механической очистки выбросов стекловаренного производства [3]. Для очистки выбросов стекловаренной печи от твердых частиц предложено применение НДТ В-1. «Сокращение и предотвращение образования выбросов в атмосферный воздух твердых частиц (пыли), взвешенных веществ».

На рисунке 1 представлена технологическая схема очистки выбросов стекловаренной печи от твердых частиц и взвешенных веществ.

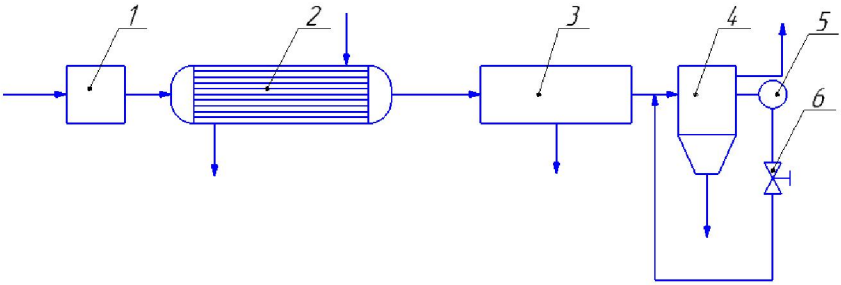


Рис. 1. Технологическая схема системы очистки выбросов стекловаренной печи от твердых частиц и взвешенных веществ:
1 – печь; 2 – теплообменник; 3 – пылеосадительная камера;
4 – пылеуловитель; 5 – камера для воздуха; 6 – шибер.

Образующиеся горючие газы в печи 1, отправляются в теплообменник 2, где происходит охлаждение горючих газов с помощью воды далее через шибер 3 переходят в пылеосадительную ка-

меру 4, где проходит процесс пылеулавливания, воздух очищается от газов и от взвешенных твердых частиц, крупные частицы оседают, мелкие направляются в рукавный фильтр 5, там происходит очистка менее крупных твердых частиц. В конечном итоге, пройдя эти стадии очистки, воздух выбрасывается в атмосферу.

На выходе выбросов из системы очистки производится пробоотбор для анализа на соответствие установленным нормативам. В качестве метода и средства производственного экологического контроля оценки качества очистки выбросов от твердых частиц предложен оптический метод. В качестве прибора контроля качества очистки – стационарный оптический пылемер «ИКВЧ-М».

Основным аппаратом очистки в представленной технологической схеме является пылеуловитель с фильтром марки ФРКДИ – 550. Рукавный фильтр такой марки имеет регенерацию и обратную продувку воздухом. Комплектация данного фильтра включает в себя фильтрующую секцию, с установленными рукавами, ресивер с клапанами, бункер с опорами, устройство выгрузки, прочистной люк, шкаф управления. Изначально загрязненный воздух проходит внутрь фильтра через входной фланец, далее проходит сквозь ткань рукавов, изнутри наружу, частицы пыли осаждаются в порах ткани, а чистый газ выводится через выходной фланец. По мере возрастания слоя пыли, также возрастает сопротивление ткани. Рукавный фильтр данной модели оснащен системой продува, направление воздуха обратно движению очищенного газа. [4].

В данной работе проведены расчеты параметров рукавного фильтра, площадь фильтрующей поверхности, количеств секций и рукавов в секции, предложен материал фильтровальной ткани. Также проведена оценка предложенной технологии с точки зрения промышленной безопасности и экономической эффективности [5].

Список литературы

1. *Гулоян Ю.А.* Физико-химические основы технологии стекла. // Учебное пособие для высших и средних учебных заведений, систем научного и производственного обучения. – Владимир: «Транзит-ИКС», 2008, – 736 с. Иллюстр.

2. *Гуревич П.А., Шавалеева С.М., Глебов А.Н., Баянова Л.Н.*

Химическая коррозия стеклобоя и отходов стеклянной тары как фактор негативного влияния на окружающую среду / Вестник КНИТУ-КХТИ, 2013, № 11, с 58.

3. Информационо-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 8 - 2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях», 2015 . – 116

4. *Тимонин А.С.* Справочник. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования т. 2. 2002 – 220 с.

5. *Кирсанов В.В.* Промышленная и экологическая безопасность: практикум / В.В. Кирсанов: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. – 211 с.

THE CLEANING SYSTEM OF THE GLASS-MAKING FURNACE EMISSIONS FROM FIRM PARTICLES

Nurmukhametova A.
Research supervisor: S. Shavaleeva, PhD of Chemistry
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

In this work the cleaning system of the glass-making furnace emissions from firm particles and the weighed substances is studied. By consideration of the best modern available technologies the mechanical method has been chosen and the technological scheme of emissions cleaning is offered. This scheme includes the dust collector with the hose fabric filter. Calculation of the filter is made and the schematic diagram of the cleaning device is described. The modern methods and means of an assessment of technogenic danger of maintenance of firm particles and the weighed substances in emissions of the enterprise are used and the risk zone assessment is carried out in work. The assessment of the offered technology from the point of view of industrial safety and economic efficiency is carried also out.

УДК 681.7.023.7:331.436:502.175

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Паничев М.В.
Научный руководитель: А.В. Щипанов, доцент
(Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти)

Применяемым в настоящее время процессам полирования оптических деталей свободными зернами присущ ряд недостатков. В работе рассматриваются преимущества замены такого инструмента инструментом со связанными полировальными порошками.

Современное приборостроение требует применения большого количества оптических деталей.

Оптические детали – это детали служащие для пропускания, отражения световых пучков, изменения их спектрального состава, направления, скорости или свойств [1]. Они изготавливаются из материалов имеющих высокую оптическую однородность. Детали из оптических материалов должны сохранять форму и прецизионную точность обработанных поверхностей в течении длительного срока эксплуатации, быть стойкими к воздействию механических усилий и климатических факторов. Важным показателем возможности применения материала в качестве оптического является его способность образовывать поверхности высокой степени чистоты.

Материалами, удовлетворяющими перечисленным требованиям, являются оптические стекла органические и неорганические, оптические кристаллы и керамика. Все эти материалы, за исключением некоторых видов природных кристаллов, получают искусственно различными технологическими методами из химически чистых элементов и соединений [2].

Стекла – это аморфные тела, получаемые переохлаждением расплава независимо от их состава и температурной области затвердевания и обладающие в результате постепенного увеличения вязкости механическими свойствами твердых тел, причем процесс

перехода из жидкого состояния в стеклообразное должен быть обратимым (определение Комиссии по терминологии АН СССР от 1932 г.).

Процессы обработки заготовок из оптических стекол значительно отличаются от обработки других материалов, например металлических.

Так, на финишных операциях при обработке оптических деталей чаще всего используется обработка инструментом со свободными абразивными зернами или шлифовальными и полировальными порошками.

Рассмотрим, как осуществляется технологический процесс полирования таких заготовок. Операции полирования в процессе изготовления оптических деталей проводятся после тонкого шлифования.

Полирование – это операция снятия оставшихся неровностей после шлифования оптической детали, до получения нужной шероховатости и чистоты, а также для получения заданной точности обрабатываемой поверхности. Основание процесса лежит на совместном действии ряда факторов: механических, химических и физико-химических. При применении разнообразных смачивающих жидкостей можно ускорить или наоборот замедлить процесс полировки деталей.

Обычно, процесс полирования является заключительным в механической обработке. Его цель обеспечить необходимые параметры чистоты и качества рабочих поверхностей оптических деталей. Для этих технологических операций готовится водная суспензия полировальных порошков. Шлифование и полирование проводится на специальных станках способных обрабатывать заготовки со сложной геометрией (например, различных линз). Обработка проводится методом притира с использованием свободного абразива при помощи смоляных полировальников. Водная суспензия полировальных порошков подается в зону контакта полировальника и заготовки, которые при этом совершают требуемые рабочие движения [3].

В качестве полировальных порошков могут применяться мелкие зерна абразивных материалов, но чаще всего полирующие

порошки состоят из окислов металлов: церия, железа или лантана с размерами зерен 0,2–0,5 мкм. Порошки таких размеров еще называют тонкодисперсными.

Для улучшения рабочих характеристик полирующих порошков иногда в них добавляют окислы других металлов или различные химические добавки.

У нас наиболее часто применяют полирит, состоящий из смеси окислов редкоземельных металлов.

Полирит – порошок коричневого цвета, содержащий до 97 % окислов редкоземельных элементов (в том числе до 45 % окиси церия).

Наряду с некоторыми достоинствами (например, не высокие требования к применяемому оборудованию и инструменту) полированию с использованием свободных порошков присущ ряд серьезных недостатков. Так при его применении характерны низкая экологичность процесса, культура производства и невысокие условия труда. А так же, они могут оказывать неблагоприятные воздействия как на людей, имеющих контакт с ними, так и на природу при утилизации. При применении полировальных порошков в виде водной суспензии идут повышенные затрата воды и порошков. При изготовлении водной суспензии полировальный порошок попадает в воздушное пространство цеха на производстве и оказывает неблагоприятное влияние на человека, оседая в легких и дыхательных путях.

С мелкодисперсными порошками редкоземельных элементов рекомендуется работать только в перчатках, очках и респираторе. При работе с сухим порошком рекомендуется работать под тягой или использовать средства индивидуальной защиты.

Кроме того, при полировании стекла обязательно образуются сточные воды. И при обработке стекла на шлифовальных станках, куда подается абразивная суспензия, и на полировальных станках, куда подается крокусная суспензия или полирит.

В последние годы на финишных операциях обработки заготовок оптических все более широко применяется инструмент со связанными абразивными зернами.

Такой инструмент наряду с технологическими достоинства-

ми:

– универсальность;

– высокая точность;

– малая шероховатость;

обладает и экологическими преимуществами – это малоотходная технология.

Так как в этом инструменте полировальные порошки связанны их расход уменьшается на порядки. Следовательно, это производство намного более экологично, чем полирование свободными порошками.

Таким образом переход на применение инструмента со связанными абразивными зернами и полировальными порошками при обработке заготовок из оптических материалов обоснован и исторически неизбежен.

Список литературы

1. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. –928 с.

2. Технология оптических деталей: Учебник для студентов оптических специальностей ВУЗов. / В.Г. Зубков, М.Н. Семибратов, С.К. Штандель. Под ред. М.Н. Семибратова. – М.: Машиностроение, 1985. – 368 с.

3. Технология оптических деталей: Учебник для студентов оптических специальностей ВУЗов. / В.Г. Зубков, М.Н. Семибратов, С.К. Штандель. Под ред. М.Н. Семибратова. – М.: Машиностроение, 1985. – 368 с.

ECOLOGICAL SUBSTANTIATION OF THE CHOICE OF THE TOOL FOR FINISHING THE OPTICAL PARTS

Panichev M.

Supervisor: A. Shchipanov, Ph.D., Associate Professor

(Togliatti State University, Togliatti)

Currently used processes of polishing optical parts with free grains have a number of drawbacks. The paper discusses the advantages of replacing such a

tool with a tool with associated polishing powders.

УДК 62-69

ПРИМЕР УТИЛИЗАЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА

Тишаков А.А.
Научный руководитель: Н.П. Краснова
(Самарский государственный технический университет, Самара)

Рассмотрена проблема охлаждения продуктов сгорания газа от технологических агрегатов ниже точки росы. Предложена схема утилизации дымовых газов от водогрейного котла с глубоким охлаждением дымовых газов. Рассмотрены варианты применения различных материалов в хвостовых поверхностях котла.

С дымовыми газами от теплотехнических установок в атмосферу выбрасываются тонны газообразных и твёрдых загрязнителей. При сгорании любого вида топлива образуются углекислый газ и водяные пары, а также такие вредные вещества, как оксид углерода (CO) и оксиды азота (NO_x). Температура уходящих газов из котельных агрегатов при номинальной нагрузке составляет примерно около 120-160 °С. Данная температура, близка к температуре точке росы паров кислот. Порой температуры дымовых газов бывают намного выше, например, от печей или топливоиспользующих электрогенераторов, и может достигать до 600°С. Отсюда делаем вывод, что появляется необходимость в утилизации теплоты, охлаждения продуктов сгорания, ограничение загрязнения окружающей среды. Обычно для этого в установку включают экономайзеры и теплоутилизаторы.

Проблема потери тепла с дымовыми газами долго время оставалась неразрешимой. Всяческие попытки охладить дымовые газы до точки росы и использовать выделяемое при этом тепло осуществлялись еще в начале XIX века, но при этом испытатели столкнулись с проблемой высокой коррозии материалов, делающей утилизацию тепла дымовых газов экономически нецелесообразной.

Столкнувшись с проблемой коррозии, не стоит спешить отказываться от перспектив экономии за счёт охлаждения дымовых

газов ниже температуры точки росы. Варианты могут быть следующими:

1. Конденсат можно постоянно собирать и своевременно удалять, при этом контролировать безопасность окружающей среды.

2. Так же можно отказаться от нагрева воды и использовать тепло дымовых газов. Для этого необходимо сделать дополнительно несколько колен в дымоходе и сделать сушильную камеру. Но много колен в дымоходе делать нецелесообразно, так как это может привести к полной потере тяги и плохо повлияет на работу всего агрегата.

3. При помощи более сложного технологического решения можно добиться отсутствия конденсата и при нагреве воды. Но при этом нужно действовать в небольшом диапазоне разности температур. Для технического обеспечения данного решения достаточно подобрать скорость движения теплоносителя. Можно изготовить поверхность змеевика из материала устойчивого к коррозии и воздействию агрессивной кислой среды.

Предлагается вариант установки воздухоподогревателя конденсационного типа после водогрейного котла, схема которого представлена на рисунке 1.

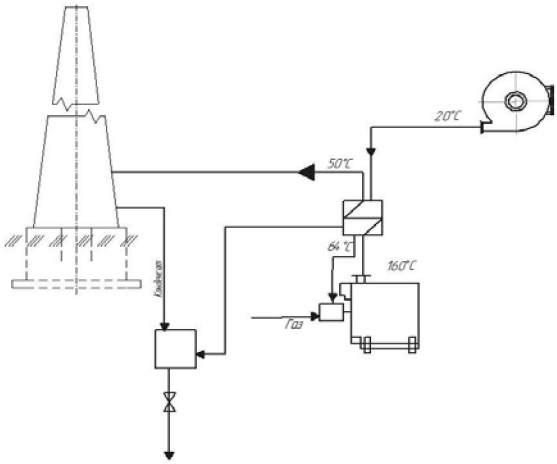


Рис. 1. Схема утилизации дымовых газов от водогрейного котла

При конденсации водяных паров в хвостовых зонах образуется нежелательная кислая среда, из-за разбавления продуктами сгорания, в частности оксидов серы и азота. Это влечёт за собой коррозию и снижение срока службы воздухонагревателя, но это никак не влияет на работу самого котла.

Например, использование такой системы охлаждения дымовых газов от котла КВа-0,3, мощностью 300 кВт может дополнительно «снять» до 15,7 кВт полезной мощности, тем самым увеличив КПД котла на несколько процентов.

Для более интенсивного теплообмена и предотвращения коррозии предлагается выполнять оборудование из материалов высокой коррозионной стойкости и высокой теплопроводности (см. таблицу 1).

Таблица 1

Теплопроводность различных материалов при температуре 200°С

№ п.п.	Материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С

1.	Медь	378
2.	Алюминий	229
3.	Молибден	149
4.	Сталь нерж.	52

Как видно из таблицы 1, применение таких металлов способствует повышению эффективности теплообмена в кислых средах.

Применение развитых поверхностей, таких как поперечное обтекание водогрейных труб, насадок, шипов, выполненных из таких материалов, ведет к большему увеличению конвективной составляющей теплообмена.

Развитая поверхность и высокий коэффициент теплопроводности создают условия для компактных воздухоподогревателей.

Недостаток такого использования – высокая стоимость материла. Однако, если найти баланс в затратах на топливо (например, попутный нефтяной газ, который в настоящее время вместо использования просто сжигается), сроках эксплуатации и энергетической эффективности оборудования, то можно в экономическом плане выиграть.

Список литературы

1. *Эстеркин Р.И.* Промышленные котельные установки: Учебник для техникумов.-2-е изд., перераб. И доп. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петер. Отделение, 1985. 400 с.

2. Конденсационные газовые котлы плюсы и минусы [электронный ресурс]. http://aquagroup.ru/articles/kondensacionnye-gazovye-kotly-plyusy-i-minusy.html

3. Целесообразность утилизации тепла дымовых газов [электронный ресурс]. http://building-forum.ru/energosberezhenie/dym.php/

EXAMPLE OF FLUE GASES UTILIZATION AFTER BOILER

Tishakov A.
Supervisor: N. Krasnova
(Samara State Technical University, Samara)

Problem of gas combustion products cooling after technological units below the dew point examined. Boiler's flue gas utilization scheme with deep cooling of flue gases suggested. Using possibilities of different materials in boiler caudal surface considered.

УДК 502.054

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Чивелёва М.Д.
Научный руководитель: Л.Н. Горина, докт. пед. наук, профессор
(Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти)

Разработана система мониторинга автотранспортного комплекса. Проведена оценка экологической и инфраструктурной безопасности на примере кварталов городского округа Тольятти с выявлением не соответствий нормативным требованиям расположения исследуемых объектов и их СЗЗ.

В результате проведенного мониторинга сформулированы выводы по полученным данным и разработаны рекомендации с учетом данных научно-исследовательской работы.

В крупных городах автомобиль является основным источником загрязнения атмосферного воздуха. Он выделяет в воздух около 65 % углеводородов, более 95 % оксида углерода и 30 % оксидов азота.

Для того чтобы улучшить состояние окружающей среды, необходимо выявить при помощи разработанной системы мониторинга «скрытые» факторы антропогенного характера.

На данный момент нет определённой последовательности проведения экологического мониторинга городской среды, поэтому целью проекта является разработка экологического мониторинга селитебной территории для инфраструктурных объектов, связанных с транспортным комплексом, чтобы снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду и повысить качество жизни в городе.

Для проведения мониторинга необходимо разработать этапы (задачи) реализации проекта: определение критериев и оценки экологической и инфраструктурной безопасности по идентифицированным антропогенным факторам; проведение эксперимента на примере жилых кварталов городского округа Тольятти; анализ ре-

зультатов эксперимента и их оформление, формулирование выводов и рекомендаций.

Экспериментальные исследования проводились по критериям мониторинга инфраструктурной и экологической безопасности:

1. Места расположения пешеходных переходов;
2. Расстояния между автобусными остановками;
3. Соблюдение размеров санитарно-защитной зоны стоянок городского автотранспорта,

Методами исследования выбранных направлений были взяты: работа с нормативными документами, экспертный и экспериментальный. Исследование проводилось при помощи рулетки, шагомера и газоанализатора универсального ГАНК-4 Р.

В качестве объектов исследования были выбраны 2 района города: Комсомольский и Центральный, экспериментальным путём, выбиралась одна улица: Громовой и Баныкина.

Была подобрана нормативно-правовая база подходящая выбранным критериям проекта перед началом проведения мониторинга инфраструктурной и экологической безопасности. Полученные расположения пешеходных переходов и автобусных остановок после проведённого исследования конспектировались и сравнивались с данными указанными в нормативных документах [3].

Выбросы измерялись при помощи газоанализатора ГАНК-4 Р на выбранной улице каждого из районов. Считалось общее количество автобусных остановок на данной улице и на одной из них замерялись выбросы после проезжающего одного автобуса, и выбросы от проезжающих машин между первым и следующим автобусом. Результаты выбросов суммировались и умножались на общее число остановок. В качестве веществ измерений атмосферного загрязнения были выбраны: CH, CO2, NOx.

Чтобы упростить визуализацию всех полученных данных по проекту, была введена субъективная балльная шкала критериев оценки. При соответствии/несоответствии критериев с нормативными документами, каждому критерию даётся балл от 0–15, где 0 обозначает наилучший результат. Все баллы суммируются и назначается «Уровень опасности» по полученному итоговому баллу. Балльная шкала для выявления уровня опасности указана в табли-

це 1. «Система выставления баллов» указана в таблице 2.

Таблица 1

Оценка уровня опасности

Общий балл	Уровень опасности
0-180	Низкий
181-350	Средний
От 351	Высокий

Таблица 2

Система выставления баллов

№ п/п	Критерии	Соответствует нормам	Не соответствует нормам
1	Соответствие количества пешеходных переходов	0	10
2	Соответствия расположения автобусных остановок	0	10
3	Размеры санитарно-защитной зоны от автобусных стоянок	0	10
4	Объём выбросов от инфраструктурного объекта (дорога):		
	- До 600-800 л/с	5	
	- От 800-1000 л/с	10	
	- От 1000 л/с	15	

По итогам экспертной части были выявлены несоответствия нормативным требованиям безопасности, что показаны в таблице 3. Часть расположения пешеходных переходов и остановок не

соответствует нормам из-за большой интенсивности движения и расположения СЗЗ. В районах, где проводились исследования, зафиксировано, незначительное превышение объёмов выбросов. После выставления всех баллов и их суммирования было выявлено, что Комсомольский район, ул. Громова и Центральный район, ул. Баныкина имеют «Средний» уровень опасности по итогу исследования факторы антропогенного характера.

Таблица 3

Экологическая и инфраструктурная безопасность городской среды

№ п/п	Исследуемые объекты	Кол-во остановок/пешеходных переходов	Расстояние до селитебной территории	Соответствие требованиям	Ссылка на список источников	Балл
Автобусные остановки и пешеходные переходы (по улицам)						
1	Громова.	10/ 6	-	2 из 10/ 1 из 6	4	20
2	Баныкина	12/ 12	-	4 из 12/ 0 из 12		40
Автобусная стоянка						
4	Троллейбусная		105	нет	3	10
5	Автовокзал		166	нет		10
6	Автобусная		104	нет		10
Выбросы						
№ п/п	Точки Измерения (улицы)	Выбросы после одного автобуса	Выбросы от проезжающих машин между 1 и 2 автобусом	Кол-во остановок	Итого	Балл
7	Громовой	0,8	101	10	1018	15
8	Баныкина	0,8	110	12	1218,8	15
Итого баллов 120						

Также были идентифицированы антропогенные аспекты,

разработаны показатели оценки аспектов и их методы проведения по направлениям мониторинга безопасности. Проведен мониторинг экологической и инфраструктурной безопасности городской среды, выполнено технико-экономическое обоснование проведения мониторинга, разработаны рекомендации по снижению антропогенного воздействия на городские территории по результатам выполнения проекта:

1. Провести реконструкцию транспортных остановок и пешеходных переходов в соответствии с нормативными документами [1–3].

2. В районах с несоблюдением размеров СЗЗ, предусмотреть архитектурные конструкции для уменьшения антропогенного воздействия на жилые районы.

Также по результатам исследования были определены целевая аудитория проекта: университет; органы исполнительной власти субъектов российской федерации; муниципальное образование; общественные экологические объединения; жители города; органы государственного надзора и контроля (Роспортебнадзор, Росприроднадзор).

Список литературы

1. ГОСТ Р 52766-2007 от 23 октября 2007 г. N 270-ст (с изм. от 09.12.2013 N 2218-ст с 28.02.2014) "Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования" [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://docs.cntd.ru

2. ОСТ 218.1.002-2003 от 23.05.2003 N ИС-460-р "Автобусные остановки на автомобильных дорогах. Общие технические требования" [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://docs.cntd.ru

3. СНиП 2.07.01-89* "Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений" (взамен СНиП II-60-75) [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://docs.cntd.ru

4. СНиП 2.05.02-85* от 17 декабря 1985 года N 233 "Автомобильные дороги" (взамен СНиП II-Д.5-72 и СН 449-72с, с изм. N 5 от 30 июня 2003 г. N 132) [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://docs.cntd.ru

5. СанПиН 42-128-4690-88 (утв. от 5 августа 1988 года, N 4690-88) "Санитарные правила содержания территорий населенных мест" [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://docs.cntd.ru

DEVELOPMENT OF A COMPREHENSIVE MONITORING SYSTEM IN RESIDENTIAL AREAS

Chepeleva M.
Supervisor: L. Gorin, doctor of pedagogical Sciences, Professor
(Togliatti state University, Tolyatti)

Developed system of monitoring of motor transport. The evaluation of environmental and infrastructure security on the example of districts of the city of Togliatti with the identification do not comply with the regulatory requirements of the location of the studied objects and their SPZ.

As a result of the monitoring conclusions according to the obtained results and developed recommendations based on the data of research work.

УДК 504.3

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В УРБОЭКОСИСТЕМЕ С ПОМОЩЬЮ КАЧЕСТВЕННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОТВЕТА СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Шагидуллин А.Р.
Научный руководитель: Ю.А. Тунакова, докт. хим. наук, профессор
(Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань)

Рассматриваются возможности использования качественной оценки количественного нечеткого вывода системы типа Такаги-Сугено для управления качеством урбоэкосистемы. Предлагается метод создания системы типа Мамдани, ответ которой идентичен ответу системы Сугено в случае дефаззификации.

Защита и контроль состояния окружающей среды является важнейшей задачей для обеспечения устойчивого развития территории. При этом при надлежавшей организации системы мониторинга в крупных промышленных городах информация о состоянии окружающей среды представляет собой значительный массив данных, обработка которого сопряжена с определенными трудностями. В связи с этим в настоящее время большое значение имеет разработка аппарата обработки мониторинговой информации и принятия управленческих решений, направленных на обеспечение экологической безопасности территории.

По оценкам ряда специалистов, состояние урбоэкосистемы удовлетворительно описывается состоянием ее основных компонентов: атмосферного воздуха, почвенного покрова и биологических сред организма жителей урбоэкосистемы. Атмосферный воздух – главный фактор, формирующий уровень загрязнения в урбоэкосистеме, дополнительно оценивается изменчивость при наборе действующих метеорологических параметров и способности атмосферы к самоочищению. Почвенный покров аккумулирует все ви-

ды химического загрязнения, позволяет характеризовать длительно формирующееся загрязнение и трансформацию урбоэкосистемы. Биологические среды организма жителей урбоэкосистемы дают прямой отклик на изменения химического состава среды обитания.

В настоящее время для оценки состояния урбоэкосистемы широко применяются вероятностные характеристики [1–3] – уровни риска. Рассматриваемая задача управления качеством урбоэкосистемы на основе вероятностного риска наиболее полно соответствует именно аппарату нечеткой логики. Следовательно, для решения задачи целесообразно применять алгоритмы нечеткой логики и нечеткого логического вывода. Нечеткий вывод, можно использовать для управления качеством компонентов урбоэкосистемы: в задачах классификации природных объектов для построения экспертных систем, управления промышленными объектами, принятия решений в условиях неопределенности, в силу возможности оперирования не точными числовыми значениями, а некоторыми нечеткими лексическими переменными.

Непосредственное моделирование системы нечеткого логического вывода типа Такаги-Сугено производилось в пакете MatLab в подсистеме нечетких систем управления Fuzzy Logic Toolbox. Для разработки и дальнейшего применения системы нечеткого вывода были использованы следующие графические средства, входящие в состав пакета Fuzzy Logic Toolbox: Редактор систем нечеткого вывода FIS Editor; Редактор функций принадлежности системы нечеткого вывода Mem-bership Function Editor; Редактор правил систем нечеткого вывода Rule Editor; Программа просмотра правил систем нечеткого вывода Rule Viewer; Программа просмотра поверхности систем нечеткого вывода Surface Viewer.

Сегодня распространены две системы нечеткого логического вывода: система Такаги-Сугено и система Мамдани. Основное отличие таких систем: система Сугено выдает четкий (количественный) результат в виде значения линейной функции, а система Мамдани – качественный результат (нечеткую переменную). Если система Сугено используется как механизм вычисления четкого значения, то алгоритм Мамдани может применяться для лингвистического анализа полученного результата. В этом случае встает

задача создания двух идентичных систем, Сугено и Мамдани, для одних и тех же входных данных.

В результате была создана система, позволяющая рассчитывать величину вероятностного риска загрязнения атмосферного воздуха по правилам нечеткого логического вывода Такаги-Сугено. Апробирование данных систем показало, что качественная оценка вероятностных показателей значительно смещена в сторону увеличения значений по сравнению с количественной оценкой (если бы она задавалась простым ранжированием). Смещение составляет порядка 20 %, что можно описать как состояние «повышенной готовности». Подобная настройка системы позволяет более жестко контролировать состояние урбоэкосистемы, хотя при соответствующих требованиях система может быть настроена более «толерантно».

Таким образом, нами показано, что применение для оценки состояния атмосферного воздуха урбоэкосистемы нечеткой логики и нечеткого логического вывода позволяет формализовать такие нечеткие лингвистические понятия, как «низкий риск», «благоприятное состояние атмосферного воздуха в урбоэкосистеме», «критическое состояние атмосферного воздуха в урбоэкосистеме» и т.п. Подобные лингвистические термы могут использоваться для выработки управленческих решений. Для построения системы необходимо сформулировать как можно более полную базу правил нечеткого вывода, для чего необходимо привлечь профильных экспертов. Необходимо отметить, что данная методика может быть в дальнейшем расширена и уточнена за счет применения нечетких нейронных сетей для более адекватного задания функций принадлежности используемых нечетких множеств. Разработанная нами методика привлечения систем типа Тагаки-Сугено и Мамдани, для расчета количественный значений вероятностных показателей в зависимости от качественных исходных данных, а также качественная интерпретация полученного количественного результата, позволяет повысить точность и глубину оценки риска, упростить понимание вывода системы специалистами-экспертами, сблизить расчетные результаты с экспертными оценками и оптимизировать управление качеством атмосферного воздуха в урбоэкосистеме.

Список литературы

1. *Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Новикова С.В., Шмакова Ю.А.* Оценка вероятности превышения приземных концентраций примесей в зонах действия полимерных производств (на примере г. Нижнекамска) / Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 16. – С. 111–114.

2. *Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Новикова С.В., Шмакова Ю.А.* Определение времени формирования высокого загрязнения атмосферного воздуха в зонах действия полимерных производств (на примере г. Нижнекамска). Сообщение 2 / Вестник Казанского технологического университета. –2012. – Т. 15. – № 16. – С. 115–118.

3. *Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Валиев В.С.* Методология нормирования приоритетных загрязняющих веществ в зоне действия полимерных производств / Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – № 23. – С. 147–151.

THE METHOD OF CONTROLLING THE AIR QUALITY IN THE URBAN ECOSYSTEM WITH THE HELP OF QUALITATIVE INTERPRETATION OF THE QUANTITATIVE RESPONSE OF THE FUZZY INFERENCE SYSTEM

Shagidullin A.

Supervisor: Y. Tunakova, the doctor of chemistry, professor

(Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan)

Article discusses the possibility of using qualitative assessment quantitative fuzzy inference systems of the type Takagi-Sugeno to control the quality of urboecosystem. A method of creating a system Mamdani-type, whose response is identical to the response of the Sugeno system in the case of defuzzification.

УДК 541.11

РАСЧЕТ ТЕРМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАЗОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА С ФОСФОАМИНОКИСЛОТНЫМИ ГЛИЦЕРИДАМИ В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Шакиров К.М.
Научный руководитель: В.В. Овчинников,
докт. хим. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Величины теплот сгорания ($\Delta_c H^o$) и образования ($\Delta_f H^o$) комплексов 1-фосфосерин-2,3-дилаурил-глицерида железа (**I**), 1-фосфосерин-2,3-димиристил-глицерида железа (**II**) и 1-фосфосерин-2,3-дипальмитил-глицерида железа (**III**) железа были вычислены по уравнению $\Delta_c H^o = i \pm f\,(N - g)$, в котором параметры i и f это корреляционные коэффициенты, характеризующие совокупность структурно–теплового вклада в теплоту сгорания и зависимость последней от общего числа валентных электронов N молекулы, из которого вычитается число (g) не поделенных электронных пар гетероатомов в различных функциональных группах.

Фосфолипиды, содержащие в своем составе фрагменты лауриновой (*laur),* миристиновой (*myrist*) и пальмитиновой (*palm*) кислот, а также аминокислоты серина, известны как важнейшие биохимические вещества в живых организмах [1]. Наличие таких длинноцепочечных углеводородных заместителей обуславливает низкую растворимость в воде их комплексных образований с таким металлом как двухвалентное железо и, следовательно, возможность использования последних в качестве экологически чистых средств очистки технической воды в системе водоподготовки. Следует отметить, что термохимия таких соединений не изучена.

Образование комплексов ионов двухвалентных металлов с аминокислотами известно и характеризуется устойчивой хелатной структурой. Аналогично построены комплексы 1-фосфосерин-2,3-

дилаурил-глицерида железа (**I**), 1-фосфосерин-2,3-димиристил-глицерида железа (**II**) и 1-фосфосерин-2,3-дипальмитил-глицерида железа (**III**) железа (схема 1)

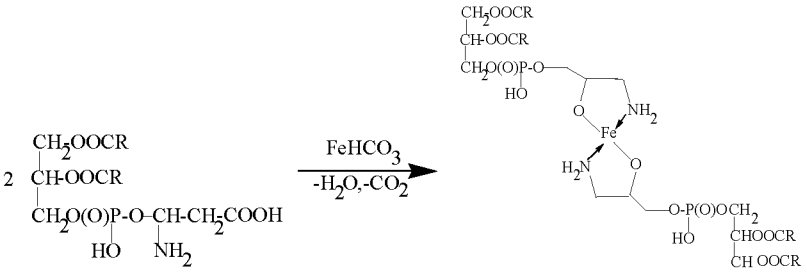


Схема 1. Образование комплексов
фосфосеринглицеридов железа (**I-III**)

Такое назначение фосфосеринглицеридов железа требует знания их термодинамических параметров: теплоты сгорания ($\Delta_c H^o$) и образования ($\Delta_f H^o$) в конденсированной фазе.

Ранее было показано [2, 3], что величины $\Delta_c H^o$ и $\Delta_f H^o$ можно вычислить при построении различных корреляционных уравнений между экспериментальными значениями теплот сгорания органических соединений и числом участвующих в них всех связеобразующих, валентных электронов (уравнение 1)

$$\Delta_c H^o = i \pm f\,(N - g) \qquad (1)$$

Параметры i и f это корреляционные коэффициенты, характеризующие совокупность структурно–теплового вклада в теплоту сгорания и зависимость последней от общего числа валентных электронов N молекулы, из которого вычитается число (g) не поделенных электронных пар гетероатомов в различных функциональных группах [4].

Так авторами работы [3] были рассчитаны зависимости (2) и (3) для семи известных в литературе теплот сгорания и образования (кДж/моль) глицеридов без фосфора (трибутирина, трилаурина, тримиристина, трипальмитина, тристеарина, триолеина и триэруцина) от числа участвующих в образовании всех связей электронов (N–g)

$$\Delta_c H^o = 41.0 - 109.4\,(N - g) \quad (2)$$

$$\Delta_f H^o = -1704.2 - 2.5(N\text{-}g) \quad (3)$$

С использованием этих зависимостей мы рассчитали значения теплот сгорания и образования исследуемых железо-фосфосеринлипидных комплексов (**I-III**); результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Теплоты сгорания и образования (кДж/моль, ± 0.5 %) железо-фосфосеринглицеридов Fe(*fl*)$_2$

№	Комплекс, формула, число валентных электронов (*N-g*)		$-\Delta_c H^o$	$-\Delta_f H^o$
I	Fe(*laur*)$_2$, $C_{64}H_{122}N_2O_{16}P_2Fe$,	360	39343.0 ± 196.7	2604.2 ± 13.0
II	Fe(*myrist*)$_2$, $C_{68}H_{130}N_2O_{16}P_2Fe$,	384	41968.6 ± 209.8	2664.2 ± 13.3
III	Fe(*palm*)$_2$, $C_{76}H_{146}N_2O_{16}P_2Fe$,	432	47219.8 ± 236.1	2784.2 ± 13.9

Список литературы

1. *White A., Handler Ph., Smith E. L., Hill R.L., Lehman I.R.* Principles of Biochemistry, 1981. Moskow.

2. *Ovchinnikov V.V.* Thermochemistry of Heteroatomic Compounds. Enthalpy of Combustion and Formation of Organic Compounds of Groups I-VII Elements. Dokl. Phys. Chem. 2012. Vol. 443, № 1. P. 69–72.

3. *Гуревич П.А., Лаптева Л.И., Овчинников В.В.* Термохимия гетероатомных соединений. Теплоты сгорания и образования глицеридов карбоновых кислот. Вестник Казанского технологического университета. 2013, Т. 17, № 14. С. 45–48.

THE CALCULATION OF THERMOCHEMICAL PARAMETERS OF FORMATION OF IRON COMPOUNDS WITH PHOSPHO-AMINOACIDICS

OF GLYCERIDES IN THE PROCESSES OF CLEANING OF THE DRINKING AND UNDERGROUND WATERS IN THE SYSTEM OF WATER SUPPLY

Shakirov K., Ovchinnikov V.
Supervisor: V. Ovchinnikov, doctor of chemical sciences, professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The values of the heats of combustion ($\Delta_c H^o$) and formations ($\Delta_f H^o$) complexes 1-phosphoserine-2,3-dilauril-glyceride of iron (I), 1- phosphoserine -2,3-dimyrestyl- glyceride of iron (II) and 1- phosphoserine -2,3-dipalmytil-glyceride iron (III) iron have been calculated on equation $\Delta_c H^o = i \pm f\,(N - g)$, in which parameters i and f are the correlation factors describing set of the structurally-thermal contribution to the heat of combustion and the dependence of the last from general number valence electrons N of a molecule from which the number (g) lone electronic pairs of heteroatoms in various functional groups is subtracted.

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 338.26

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОСРЕДСВОМ УПРАВЛЕНИЯ «БАНКОМ ИДЕЙ»

Абзгильдин Д.А.
Научный руководитель: М.К. Аристархова,
докт. экон. наук, профессор
(Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа)

В современных условиях все предприятия и организации ориентированы на внедрение инноваций абсолютно во все сферы своей деятельности. При этом всегда возникает проблема устаревания инновации, принятой к внедрению. В том случае, определенную помощь предприятиям должен оказать «Банк идей», формированию которого, а также его «работе» посвящена статья.

Внедрение инноваций – это условие успешного и устойчивого развитие любого предприятия и организации. Инновационное развитие любого предприятия ориентированно на внедрение инноваций во все сферы его деятельности.

Соответственно, признавая разнохарактерность каждой из сфер деятельности предприятия, возникает необходимость системного формирования идей, которые могут быть притворены в жизнь. Говоря другими словами, предприятиям следует заняться формированием **«банка идей»**.

Банк должен быть ориентирован на структурное отражение всех направлений деятельности предприятия. В рамках каждого направления следует выделять его структурные составляющие. При этом, включение идеи в состав «банка» должно обеспечивать рост производительности труда (ПТ), сокращение времени (t) реализации идеи, сокращение затрат (З) на реализацию идеи, улучшение условий труда (рис. 1.).

Рис. 1. Системное представление создания «Банка идей».

Представляется необходимым, осуществлять систематическое пополнение «банка идей» предложениями от всех заинтересованных лиц. Однако, каждое такое предложение должно пройти проверку на обеспечение выполнения названных выше показателей.

Предполагается, что идеи «банка» будут иметь привязку к конкретному направлению деятельности предприятия. Делать это необходимо для того, чтобы иметь представление о возможных усовершенствованиях, которые необходимо выполнить.

Однако, в рамках каждого вида деятельности идеи должны проходить отбор по различным критериям и в первую очередь – временному аспекту, которые сопряжен с затратным

Определение сроков начала реализации выбранной идеи должно начинаться с установления «срока жизни» идеи – срока рациональности замены старой идеи новой. В качестве такого срока может быть принят фактический срок окупаемости ранее внедренной идеи, мероприятия, предложения, так как в этот момент затраты на реализацию этого мероприятия окупились снижением себестоимости, ростом производительности труда.

К моменту замены старой идеи, новая должна быть полностью разработана. Реализация идеи проходит последовательно следующие стадии: выбор идеи, конструирование, изготовление, адап-

тация. Длительность цикла разработки идеи ($Т_{идеи}$) будет определяться следующим образом:

$$Т\ идеи = Т\ выбор\ идеи + Т\ констр. + Т\ изгот. + Т\ адапт. \quad (1)$$

где Т выбор идеи – время, затрачиваемое на выбор идеи из «банка идей» (должен быть разработан соответствующий алгоритм и определены подходы к выявлению затрат времени на выбор идеи);

Т конструирование – время, затрачиваемое на конструкторскую проработку идеи (включая все этапы КПП);

Т изготовления – время на изготовление средств оснащения процесса производства конструкции, разработанной на предыдущей стадии, включая время на изготовление самой этой конструкции;

Т адаптация – время адаптации идеи (разработки, конструкции) в производственных условиях.

Из всех компонентов формулы 1 последний обладает определенной новизной и поэтому остановимся на его рассмотрении.

$$Т\ адаптации = Т\ освоения + Т\ приспособления \quad (2)$$

где Т освоения – время на овладение навыками практического применения разработанной идеи (может качаться только рабочего, эксплуатирующего это техническое средство - идею);

Т приспособления – время на доведение до органического единства, освоенного ТС с системой его функционирования.

Разработке определения каждой из составляющих формулы 2 следует уделить самое серьезное внимание. Пока же возможно высказать два предположения:

1. Т освоения представляет собой функцию от направления плана ТРиОП (П), категории сложности ТС (С), квалификации рабочего (К), размера производственной программы (ПП) и др.

$$Т\ освоения = f\ (П, С, К, ПП) \quad (3)$$

2. Т приспосабливания может быть выражено как функция от П, ПП, степени гибкости организации производства (Г) и др.

$$Т\ приспосабливания = f\ (П, С, К, ПП, Г) \quad (4)$$

Установив такие зависимости и набрав статистические материал, очевидно можно было бы построить корреляционно-регрессионные модели, позволяющие определять продолжитель-

ность времени адаптации (а по аналогии и для всех составляющих формулы 1).

Реализация высказанного предложения осуществляется одновременно в двух сферах – производственной и на ее подготовительной фазе, что можно показать на рисунке 2.

Согласно приведенной схеме важнейшими особенностями времени разработки идеи можно назвать:

1. Единство структуры этапов подготовки предложения (идеи) для всех разделов плана технического развития и организации производства;

2. Параллельное протекание этапов подготовки и основного производственного процесса;

3. Совпадение во времени начала периода адаптации со сроком передачи разработанного объекта в производство;

4. Совпадение во времени срока окончания работ над новым объектом со сроком начала полноценного функционирования этого объекта в производстве.

Таким образом, зная продолжительность каждого их этапов реализации идеи и сроки окупаемости идеи, удается рассчитать момент начала работ над реализацией новой идеи относительно конкретного ТС.

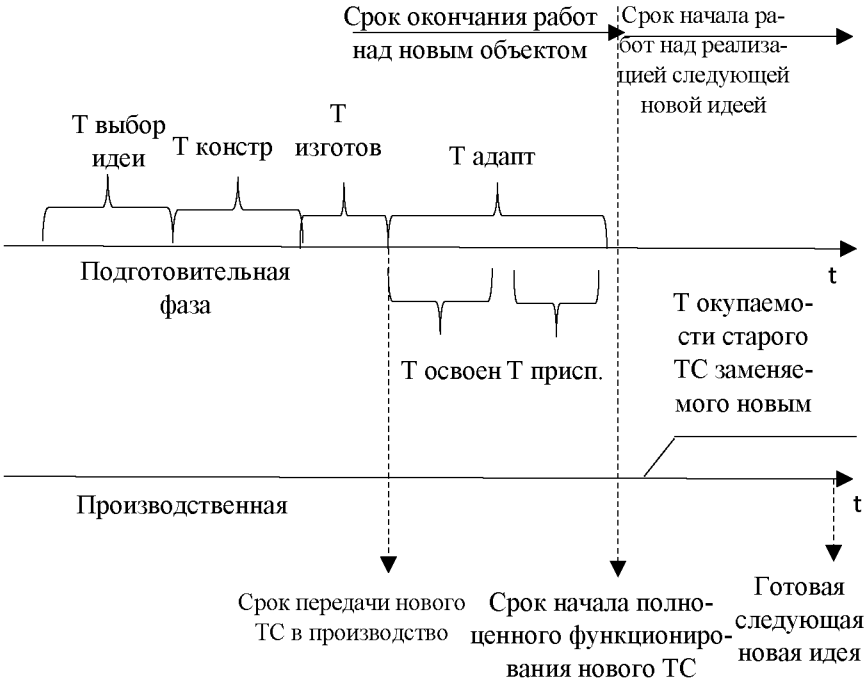


Рис. 2. Временная структура производственного процесса и ее подготовительной фазы

Список литературы

1. *Абзгильдин Д.А., Аристархова М.К.* Воздействие экономической политики на инновационную деятельность // Совершенствование налогового администрирования Материалы первой научно-практической конференции. 2016. С. 37-41.

2. *Аристархова М.К., Зуева О.К., Зуева М.С.* Технологии управления промышленным предприятием инструментами контроллинга // монография М. К. Аристархова, О. К. Зуева, М. С. Зуева; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Уфимский гос. авиационный технический ун-т"

3. *Новицкий Н.И.* Организация производства: учебное посо-

бие / Н.И. Новицкий, А.А. Горюшкин; под ред. Н.И. Новицкого. — М.: КНО РУС, 2013. — 350 с.

4. *Перевезенцева А.Ю., Аристархова М.К.* Концептуальные и методологические основы оценивания налоговой устойчивости предприятия // Совершенствование налогового администрирования Материалы первой научно-практической конференции. 2016. С. 17-27.

ENSURING INNOVATIVE DEVELOPMENT OF THE PRODUCTION USING COMMUNITY MANAGEMENT "BANK OF IDEAS"

Abzgildin D.
Supervisor: M. Aristarkhova, Dr.Econ.Sci., professor
(The Ufa state aviation technical university, Ufa)

In modern conditions, all enterprises and the organizations are focused on introduction of innovations absolutely to all spheres of the activity. At the same time, there is always a problem of obsolescence of the innovation accepted to introduction. In that case, "The bank of the ideas" to which formation, and also its "work" article is devoted has to give certain help to the enterprises.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Барабанова В.В., Садриева Е.Ф.
Научный руководитель: А.Т. Кушимов,
докт. экон. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Объектом исследования является участок сборки узла управления ПАО «КВЗ». ПАО «КВЗ» – производственное предприятие, осуществляющее свою деятельность в сфере машиностроения (производство вертолетов), расположенное в г.Казани. Предметом исследования является характер организации производства на участке сборки узла управления.

В условиях кризиса обостряются задача поиска способов развития производственных систем, минимизирующих вложения ресурсов. В этих условиях организационные инструменты повышения эффективности производственных систем представляют собой перспективные источники соответствующих управленческих решений. Задачи внедрения современных принципов организации производства еще больше обостряются в условиях нарастающего политического влияния на внутренних производителей, которое, с одной стороны, приводит к снижению экспорта, а значит, сокращению потоков поступающих валютных ресурсов, а с другой открывает новые возможности импортозамещения на внутреннем рынке. Современный потребитель требует от производителя высокого качества готовой продукции и гибкости производственной системы, что еще больше актуализирует задачи эффективной организации производства.

Таким образом, указанные факторы определяют актуальность и значимость темы предлагаемой выпускной квалификационной работы.

Объектом исследования было выбрано ПАО «КВЗ». Данное предприятие является одним из крупнейших предприятий г. Казани и Республики Татарстан и единственным предприятием отрасли,

реализующим полный цикл создания вертолётной техники от проведения НИОКР до серийного выпуска, включая послепродажное обслуживание, обучения персонала и ремонт. Производимый ассортимент КВЗ включает вертолеты военных, транспортных, пассажирских модификаций Ми-8, Ми-8 МТ, Ми-17, Ми-172, Ми-8 МТВ-5 (Ми-17 В5), Ми-8МТВ-1 (Ми-17-1В), Ми-38, легкий вертолет «Ансат», сверхлегкий вертолет «Актай», авиаимущество.

Значительная роль КВЗ для экономики РФ и Республики Татарстан обусловлена, помимо прочего, значительной экспортной ориентацией производства. Однако негативная политическая и экономическая ситуация сказалась на выручке организации в 2015-2016 гг. (рис. 1).

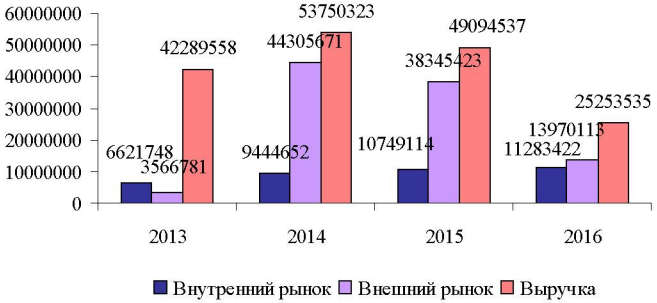


Рис. 1. Структура выручки по типам реализуемой продукции и услуг (млн.руб.)

Закономерно со снижением выручки снижается величина чистой прибыли и прибыли от продаж (рис. 2).

Рис. 2. Динамика изменения финансовых результатов

Таким образом, последние годы наблюдается отрицательная динамика эффективности финансовых показателей предприятия, что обостряет задачу изыскания управленческих решений по повышению эффективности производственных процессов.

Целью данной работы является разработка мероприятий по совершенствованию экономической эффективности организации машиностроительного производства.

Данная цель порождает необходимость решения следующих задач:

– оценка эффективности организации производства узла управления;

– выявление проблем организации производства узла управления;

– разработка мероприятий по повышению эффективности организации производства на участке сборки узла управления;

– формирование проекта внедрения предлагаемых мероприятий;

– оценка эффективности предлагаемого проекта.

Основными методами исследования были общенаучные методы анализа и синтеза, графический метод, а также экономико-математические методы: вертикальный и горизонтальный анализ, коэффициентный метод.

В качестве объекта исследования в рамках задач научно исследовательской работы выбран участок производства – сборка

узла управления. Сборка левого узла включает три основных элемента: сборка средней, верхней и нижней частей, которые могут осуществляться параллельно, после чего осуществляется сборка готового изделия. Сборка правого узла управления несколько отличается (нет некоторых элементов), поэтому сложность и длительность процесса сборки правого зла управления несколько меньше. Сравнение циклограмм сборки правого и левого узлов (рис. 3) позволяют сделать следующие выводы:

– производственный цикл сборки левого узла на 57,8 % больше производственного цикла сборки правого;

– длительность производственного цикла правого узла короче за счет отсутствия необходимости сборки нижней части (31 % длительности производственного цикла сборки левого узла);

– длительность сборки средней части левого узла больше сборки средней части правой ручки на 25 %.

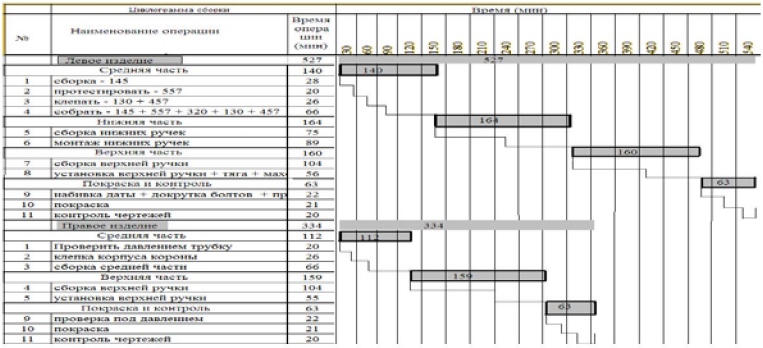


Рис. 3. Соотношение циклограмм сборки левой и правой ручки, мин

На рисунке 4 представлена динамика производства левого и правого узлов помесячно в течение 11 месяцев. Так как план производства установлен 5 единиц в месяц (такт), на диаграмме можно отследить степень отклонения факта от заданной величины.

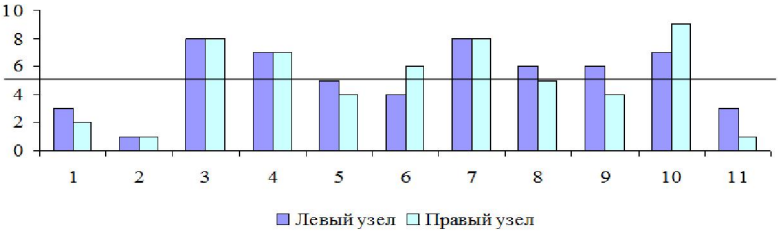


Рис. 4. Динамика производства левого и правого узлов управления

Таким образом, коэффициент вариации объемов производства 43–57 % свидетельствуют о высокой нестабильности производства, кроме этого значительные отличия статистических показателей динамики свидетельствуют помимо общей нестабильности еще и об асинхронности производства левого и правого узлов, что также негативно сказывается на параметрах работы цеха конечной сборки.

В рамках реализуемой на предприятии концепции бережливого производства все операции, выполняемые производственными рабочими, делятся на операции, добавляющие ценность (ДЦ), операции, не добавляющие ценность (НДЦ) и необходимые, но не добавляющие ценность (НДЦН). На рис. 11 представлена структура рабочего времени, где операции НДЦ занимают 42,34 % рабочего времени, а ДЦ только 34,01 %. Таким образом, оптимизация производственного процесса заключается в минимизации операций НДЦ. Следующим этапом выявления проблем организации производственного процесса является анализ временного интервала между моментом сдачи готового узла управления и моментом его отбора на последующий производственный участок (рис. 5).

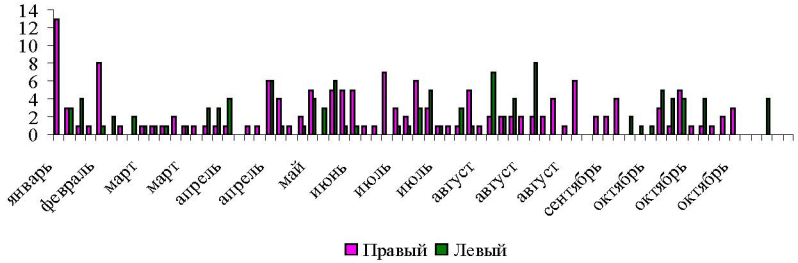


Рисунок 5 Отклонение времени сдачи и отбора изделий

На рисунке 5 достаточно четко прослеживается тенденция последовательного накопления левого и правого узлов, что свидетельствует о необходимости синхронизации производства.

В результате анализа структуры и эффективности организации производства на участке были выявлены следующие проблемы:

– асинхронность производства левого и правого узлов, обусловленная конструкционными особенностями. В условиях комплекстности изделий эта проблема негативно влияет на общую производительность участка, что, в свою очередь, делает его бутылочным горлышком и ингибитором роста производительности последующих участков сборки вертолетов;

– возникновение и высокая волатильность времени пролеживания деталей между этапами сдачи и использования, обусловленное асинхронностью производства комплектов и недостатками коммуникаций с потребителем участка;

– несоответствие фактических объемов производства заданному такту и нестабильность объемов производства, что негативно сказывается на использовании труда: периоды высокой нагрузки чередуются с периодами низкой нагрузки на участке;

– значительная доля времени НДЦ в структуре процесса, а также значительная доля простоев в общем времени НДЦ. В то же время в структуре простоев значительную долю составляют простои перед и после обеденного перерыва и перед началом рабочей смены.

Таким образом, можно обозначить задачи совершенствования организации производства на участке и их решения.

Задачи ОП:

– обеспечить синхронность производства левого и правого узлов либо минимизировать отклонения;

– привести в соответствие плановых и фактических показателей производства по времени и объему;

– минимизировать непродуктивное время в структуре длительности производственного процесса.

Рекомендации:

– переход на партионную специализацию;

– внедрение ключевых показателей эффективности каждого рабочего и участка в целом;

– визуализацию текущего положения показателей эффективности.

Так как производственный цикл левого изделия на 58 % выше производства правого, то в результате рабочий, осуществляющий сборку правого изделия дает большую выработку по деталям, чем рабочий собирающий левую. Таким образом, если закрепить за каждым рабочим необходимость сборки комплекта, то совокупная продолжительность производственного цикла снизится при обеспечении полной загрузки обоих рабочих.

Следующим блоком задач является обеспечение ритмичности производства и сокращение непродуктивного времени. Взаимосвязанность этих задач обусловлена необходимостью эффективного управления человеческими ресурсами, так как значительная доля непродуктивного времени связана с простоями после начала смены и перед обеденным перерывом, что не обусловлено технологическим процессом, а связано с низкой мотивацией персонала к обеспечению эффективности использования рабочего времени.

Устранить данную проблему можно посредством следующих мероприятий:

– разработка и внедрение KPI для каждого рабочего и для участка с привязкой премиальной части заработной платы к выполнению показателей;

– визуализация текущих показателей участка и рабочих.

Кроме этого экономический эффект включает:

– сокращение средней общей длительности производственного цикла комплекта на 18,3 %;

– сокращение непродуктивного время на 53,2 %, что эквивалентно годовой экономии в 38 385 руб.;

– снижение стоимости незавершенного производства в 2-3 раза;

– рост производительности труда на 1 % приведет к росту чистой прибыли на 459,3 тыс. руб. или на 2 %

Список литературы

1. *Аникин, Б.А.* Логистика / Б.А. Аникин. – М.: Проспект, 2013. – 406 с.

2. *Баскакова Н.Т., Симаков Д.Б.* Экономика, организация и управление производством: учебное пособие. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2014. – 262 с.

3. *Беляев, А.М.* Производственный менеджмент: Учебник для бакалавров / И.Н. Иванов, А.М. Беляев, В.В. Лобачев; Под ред. И.Н. Иванов. – М.: Юрайт, 2013. – 574 с.

4. Вертолеты России [Официальный сайт]. URL: http://www.russianhelicopters.aero/ru/kvz/

5. *Волочиенко В., Серышев Р.* Логистика производства. Теория и практика: учеб. – М.: Юрайт, 2015. – 464 с.

6. *Воронин, А.Д.* Управление операционной логистической деятельностью [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.Д. Воронин, А.В. Королев. – Минск: Вышэйшая школа, 2014. – 271 с.

7. *Гаджинский, А. М.* Логистика: учебник для высших учебных заведений по направлению подготовки «Экономика» / А.М. Гаджинский. – Москва: Дашков и К°, 2013. – 420 с.

8. *Герасимов Б.Н., Герасимов К.Б.* Производственный менеджмент: Учебное пособие / Б.Н. Герасимов, К.Б. Герасимов – М.: Вузовский учебник, НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 312 с.

9. *Друзгальская Н.М., Еременко Д.А., Федорова Л.А.* Организация производства в системе рыночных отношений // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии

и дизайна. Серия 3: Экономические, гуманитарные и общественные науки. 2013. № 2. С. 14–19.

10.*Журавлёва Т.А.* Основные тенденции развития организаций обрабатывающих производств России // Вопросы современной экономики. 2013. № 1. С. 165–189.

INCREASE OF ECONOMIC EFFICIENCY OF THE ORGANIZATION OF MACHINE-BUILDING PRODUCTION

Barabanova V., Sadrieva E.
Supervisor: A. Kushimov, d.e.s., proffesor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

The object of research is the Assembly area management node of JSC "Kazan helicopter plant". PJSC "Kazan helicopter plant" production enterprise, operating in the sphere of machine building (production of helicopters), located in Kazan. The subject of research is the nature of the organization of production at the Assembly area control unit.

УДК 658.5.011

РОЛЬ ЧЕТВЕРТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ В РОССИИ И В МИРЕ

Габитов Э.И., Шарипов А.Р.
Научный руководитель: В.М. Бабушкин, канд. экон. наук, доцент
(*Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева, Казань*)

Производство – это важнейший составляющий фактор современной экономики. Современное производство – это производство, где применяются информационные технологии в управлении производством, где планирование производством зависит уже от индивидуальных потребностей, заказов, где бизнес-процессы синхронизируются с запросами покупателя, вследствие чего планирование производством становится динамичней. Государства с высоким уровнем экономики и развитой индустрией оказывают большое влияние на уровень жизни населения.

Сегодня экономическое развитие замедляется, и это большая проблема для всего мира. Всемирная экономика перестала развиваться. И это не новость. Рост сокращается уже на протяжении пятидесяти лет (рис. 1).

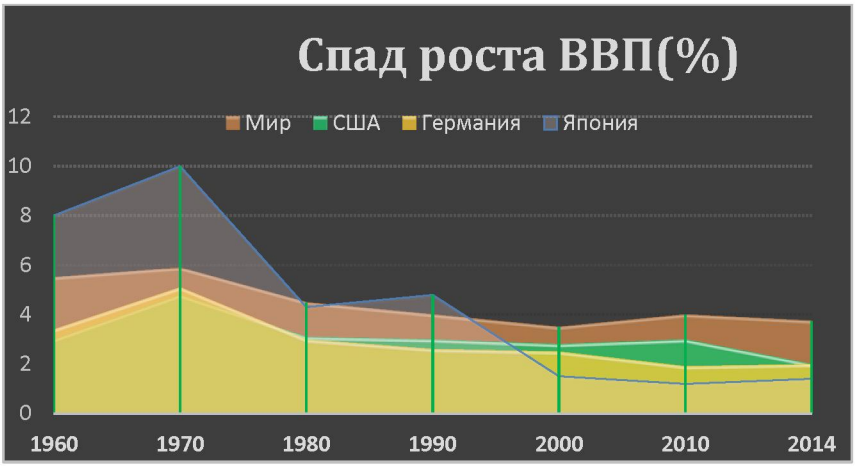


Рис. 1. Уровень ВВП мировых стран [1]

Сегодня мы находимся на пороге очередного огромного прорыва, и этот прорыв, как ни странно, начнётся с промышленности. Он выведет нас из застоя и радикально изменит процесс глобализации, который сформировался за последние десять лет. Этот прорыв называют четвёртой промышленной революцией, которая происходит сейчас [1].

Четвёртая промышленная революция – это тенденция развития промышленности, которая уже начинает набирать обороты в развитых странах. Истоки этой революции находятся в Германии, которая начала эту революцию в 2011 году и назвала ее «Индустрия 4.0». «Индустрия 4.0» – это такой подход производства, который ориентирован на автоматизацию, оптимизацию производства, таким образом, чтобы предприятие модернизировалось и лучше функционировало. Другими словами, «Индустрия 4.0» – автоматизация, оптимизация производства, таким образом, чтобы предприятие модернизировалось и лучше функционировало [2].

К основным элементам «Индустрии 4.0» относятся следующие: автоматизированные роботы, 3D-печать и кастомизация [1].

Если говорить о практическом значении четвертой промышленной революции, то здесь можно выделить несколько тенденций:

1. Изменится структура рабочих мест. Согласно ежегодному

докладу «Будущее рынка труда», который был центром внимания Всемирный экономического форума (ВЭФ) 2016 года, подготовленного основателем ВЭФ Клаусом Швабом (ВЭФ) развитие роботизации приведет к созданию 2 млн. рабочих мест, в основном, в сфере компьютерных технологий, математики, архитектуры и инженерных наук. Однако при этом оно повлечет за собой сокращение 7 млн. рабочих мест к 2020 году (табл. 1) в связи с внедрением технологических инноваций, таких как Big Data. Здесь это коснется офисных и административных должностей.

Доклад основан на данных исследования экономик 15 государств, рабочая сила которых составляет примерно 65 % от общемировой, включая Австралию, Канаду, Бразилию, Францию, Германию, Индию, Италию, Японию, Мексику, ЮАР, Турцию, Великобританию и США [5].

Таблица 1

Количество рабочих мест, которые будут ликвидированы к 2020 году благодаря роботизации, млн.

КОЛИЧЕСТВО РАБОЧИХ МЕСТ, КОТОРЫЕ БУДУТ ЛИКВИДИРОВАННЫ К 2020 ГОДУ БЛАГОДАРЯ РОБОТИЗАЦИИ, МЛН.	
Офисная и административная сфера……	4,76
Промышленное производство……..	1,61
Строительство и добыча ископаемых……..	0,49
Искусство, спорт, медиа……	0,15
Юриспруденция……	0,11
Монтаж и техобслуживание……	0,04
ВСЕГО……	7,165

2. С точки зрения развития устройств. Произойдет интерне-

тизация общества. И если в 2013 г. к сети интернет были подключены 15 млрд устройств, то к 2020 г. их число вырастет до 30 млрд, 75 % из которых будут мобильными (рис. 2). Технологии «интернета вещей» будут все активнее использоваться в сфере торговли, регулирования дорожного движения, борьбы с преступностью. Постепенно на базе интернета вещей будет формироваться инфраструктура «умных» городов с максимально эффективными энергетическими и экологическими системами [6].

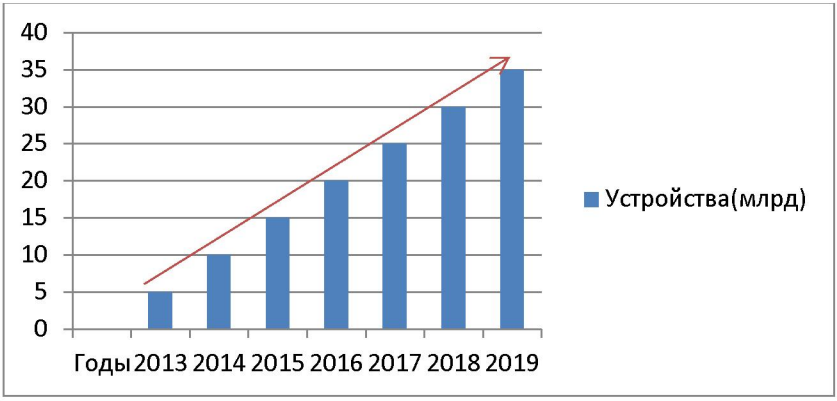


Рис. 2. Устройства, подключенные к сети

Понимая, что четвертая промышленная революция не за горами, правительства некоторых стран серьезно к ней готовятся. Так, Германия ежегодно инвестирует в промышленную интернет-инфраструктуру 40 млрд евро [6].

Что касается России, в ней также идут работы по созданию и развитию российских суперкомпьютерных информационных технологий. Например, Российское государственное научное и производственное предприятие, входящее в состав госкорпорации «Росатом» имеет несколько проектов:

Создание отечественного многофункционального пакета программ инженерного анализа и суперкомпьютерного моделирования для высокотехнологичных отраслей промышленности «ЛОГОС».

Создание отечественной защищенной системы создания и

управления сквозным жизненным циклом продукта «Цифровое предприятие».

Например, Компоненты «Цифрового предприятия» включают в себя:

- Сквозная 3D-технология полного жизненного цикла изделий
- Комплекс систем управления производством изделий
- Комплекс систем управления предприятием
- Информационная система оптимизации и реинжиниринга бизнес-процессов

Как видно данные компоненты проекта отражают суть следующим тенденциям промышленной «цифровой» революции. Следовательно, Россия также вместе с другими иностранными странами стремиться успеть создать некую технологическую базу, которая станет основанием для будущего развития [7]. Помимо этого также в России развивается пилотные проекты, которые также являются частью «цифровой революции» например, в сельском хозяйстве разрабатывают «дорожную карту» по развитию интернета. В заключении хочется отметить:

1. Что касается рабочих мест, то в нескором будущем люди должны будут иметь несколько специальностей, будут проходить переквалификацию в течение всей жизни, так как большинство рабочих мест, особенно в офисной сфере, будут роботизированы.

2. Что касается предприятий, фирм, то, постепенно, промышленная индустрия будет уходить в глобальную сеть – интернет.

3. «Индустрия 4.0» – это шаг в новую промышленную эпоху, новый шанс стабилизировать экономический рост в наших странах. В России же прежде чем создавать «виртуальные предприятия» нужно в первую очередь надо диверсифицировать ИТ-рынок, увеличивать свою долю на ИТ-рынке, занять свою нишу, что, конечно, потребует большой финансовой поддержки от государства.

Список литературы

1. https://www.ted.com/talks/olivier_scalabre_the_next_manufacturing_revolution_is_here?language=ru

2. https://therunet.com/articles/4826

3. fs.moex.com›files/9216
4. https://habrahabr.ru/company/zarlaw/blog/296146/
5. http://www3.weforum.org/docs/WEF_FOJ_Executive_Summary_Jobs.pdf
6. http://fastsalttimes.com/sections/obzor/522.html
7. http://government.ru/media/files/p5s9xN7FOBTZFoMahAzjAGjSh0aiXBAJ.pdf

THE ROLE OF THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION IN RUSSIA AND IN THE WORLD

Gabitov E., Sharipov R.
Supervisor: M. Babushkin, Ph. D. of Economics, Associate Professor
(*Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev–KAI, Kazan)*

Manufacturing is a major contributing factor of the modern economy. Modern production is a production where the use of information technology in production control, where the scheduling of production depends on individual needs, orders, where business processes are synchronized with the buyer's requests, as a result, production planning becomes more dynamic. States with a high level of economy and developed industry have a large impact on the standard of living of the population.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС И ПРИНЦИПЫ ЕГО ОРГАНИЗАЦИИ

Комина А.А.
Научный руководитель: Й.Р. Бакеева, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Организация производства захватывает основные процессы управления, вспомогательное и обслуживающее производство. Это можно обусловить, как увязанные звенья единого процесса производства продукции. За счет труда и организации производства можно приумножить объем выпускаемой продукции без дополнительных капитальных вложений, именно в этом заключается актуальность работы.

Производственный процесс гетерогенен. Он расщепляется на множество элементарных технологических процедур, которые, в свою очередь, происходят при изготовлении готового изделия. Эти отдельные действия включают в себя: рабочее движение, производственную стадию, производственную операцию, рабочие приемы.

Производственный процесс – это объединение всех действий людей и элементов производства, направление которых идет на изготовление продукции. Производственный процесс состоит из процессов:

Рис. 1. Структура производственных процессов

В критериях автоматического, самодействующего и гибкого интегрированного производств запасные и обслуживающие процессы в той или же другой степени соединяются с ведущими и делаются обязательной частью процессов изготовления продукции, собственно, что станет рассмотрено более детально.

Технологические процессы, в свою очередь, делятся на фазы.

Фаза-комплекс дел, исполнение которых охарактеризовывает окончание некой доли научно-технического процесса и соединено с переходом труда из 1-го высококачественного состояния в иное.

В машиностроении и приборостроении научно-технические процессы в главном разделяются на 3 фазы:

– заготовительная;
– обрабатывающая;
– сборочная.

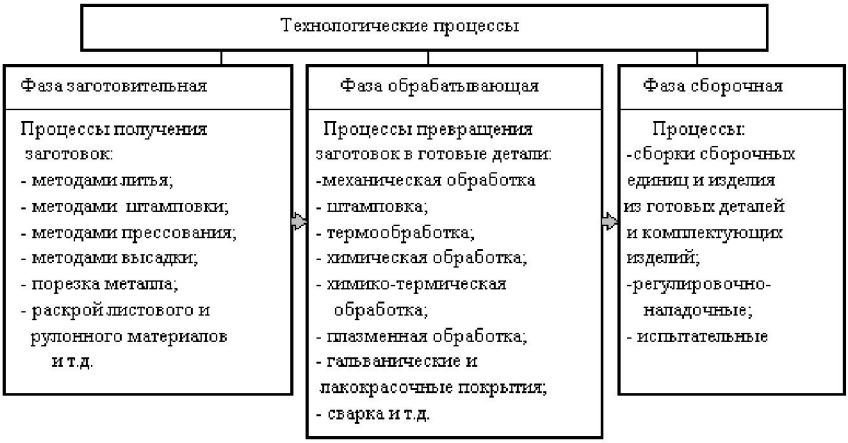


Рис. 2. Фазная структура технологических процессов

Научно-технический процесс состоит из поочередно исполняемых над этим предметом труда научно-технических деяний-операций.

Операция – часть научно-технического процесса, исполняемая на одном рабочем месте (станке, щите, аппарате и т.п.), состоящая из ряда шагов над любым предметом труда либо категорий вместе обрабатываемых вещей.

Процедуры, какие никак не водят к изменению геометральных конфигураций, объемов, физико-хим качеств объектов работы, принадлежат к никак не научно-техническим операциям (автотранспортные, погрузочно-выгрузочные, ревизорские, испытывающие, комплектовочные и др.).

Процедуры отличаются кроме того в связи с используемых денег работы:

– наручные – производимые в отсутствии использования автомобилей, элементов и механизированного прибора;

– машинно-наручные – производимые с поддержкой автомобилей либо наручного прибора присутствие постоянном участии трудового;

– механические – производимые в станках, аппаратах, аппаратах присутствие узком участии трудового (к примеру, установ-

ление, фиксирование, запуск и приостановка станка, разъединение и устранение элемента и т.д.);

– автоматизированные – производимые в механическом оснащении либо механических направлениях.

Аппаратурные движения характеризуются исполнением механических и механических действий в специализированных аппаратах (печах, аппаратах, ваннах и т.д.).

Принципы

– это начальные утверждения, в базе каковых исполняется создание, деятельность и формирование производственного хода.

Соблюдение основ компании производственного хода – один с основных обстоятельств результативной работы компании.

Основные принципы организации производственного процесса:

1. Правило пропорциональности – соразмерная эффективность в штуку периода абсолютно всех производственных подразделений компании (цехов, зон) и единичных работников участков;

2. Правило дифференциации – распределение производственного хода производства одинаковых продуктов среди раздельными подразделениями компании (к примеру, формирование производственных зон либо цехов согласно научно-техническому либо настоящему показателю);

3. Правило комбинирования – соединение абсолютно всех либо доли разнородных действий согласно производству конкретного типа продукта в границах 1-го места, цеха, изготовления;

4. Правило сосредоточения – концентрация исполнения конкретных производственных действий согласно производству технологично гомогенной продукта либо осуществлению высокофункционально гомогенных трудов в единичных зонах, работников участках, в цехах и производствах компании;

5. Правило квалификации – фигуры распределения работы в компании, в цехе. Фиксирование из-за любым подразделением компании узкой номенклатуры трудов, действий элементов либо продуктов;

6. Правило универсализации – обратен принципу квалификации. Любое пролетарое роль либо производственное отделение

захвачено производством продуктов и элементов обширного перечня либо исполнением разных производственных действий;

7. Принцип стандартизации – под принципом стандартизации в организации производственного процесса понимают разработку, установление и применение однообразных условий, обеспечивающих наилучшее его протекание;

8. Правило параллельности – синхронное осуществление научно-технического хода в абсолютно всех либо определенных его действиях. Осуществление принципа значительно уменьшает промышленный оборот производства продукта;

9. Правило прямоточности – условие откровенного перемещения объектов работы согласно движению научно-технического хода, в таком случае имеется согласно наикратчайшему дороге прохождения продуктом абсолютно всех фаз производственного хода в отсутствии возвратов в его перемещении;

10.Правило непрерывности – сокращение к минимальному количеству абсолютно всех интервалов в ходе изготовления определенного продукта;

11.Правило ритмичности – производство в одинаковые интервалы периода одинакового числа продуктов;

12.Правило автоматичности – предельно допустимое и экономически разумное избавление трудового с расходов наручного работы в базе использования механического оснащения;

13.Правило соотношения конфигураций производственного хода его технико-финансовому содержанию – развитие производственной текстуры компании с учетом характерные черты изготовления и обстоятельств его протекания, предоставляющую лучшие финансовые характеристики.

Финансовая результативность разумной компании производственного хода проявляется в уменьшении продолжительности производственного цикла продуктов, в уменьшении потерь в изготовление продукта, совершенствовании применения главных производственных фондов и повышении оборачиваемости используемых денег.

Список литературы

1 http://www.aup.ru/books/m47/7_1.htm
2 http://www.bestreferat.ru/referat-259596.html
3 https://www.webkursovik.ru/kartgotrab.asp?id=-56809
4 http://www.studmed.ru/docs/document33317/content
5 *Ребрин Ю.И.* «Основы экономики и управления производством», Изд-во ТРТУ, 2004. – 174с

THE PRODUCTION PROCESS AND THE PRINCIPLES OF ITS ORGANIZATION

Komina A.
Scientific adviser: Y. Bakeeva, associate professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The organization of production captures the basic management processes, auxiliary and serving production. This can be determined as the linked links of a single production process. Due to labor and the organization of production, it is possible to multiply the volume of output without additional capital investments, this is the actuality of the work.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ПРЕДПРИЯТИЯ

Комина А.А.
Научный руководитель: Й.Р. Бакеева, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Производственная структура – это взаимосвязь между ступенями и различными звеньями производства в их общем объеме. Также в дополнении имеется две взаимодополняющие друг друга подструктуры, а именно, организационную и производственную, характеризующие с различных позиций главный объект организаций производства. Любая подструктура выступает как самостоятельный элемент по отношению к другой структуре в организации производства.

С технологической точки зрения и экономической, ведущей группой цехов предприятия являются основные цехи, которые определяют объемы производственного процесса и главные экономические показатели работы производства. А также, кроме основных цехов, различают вспомогательные и побочные цехи, все зависит от перерабатываемого сырья и от характера производственных процессов.

К цехам основного производства относят цехи, выполняющие основные процессы производства, или их часть, то есть, всецело связаны с изготовлением основной продукции предприятия.

Классификация ведущих цехов по стадиям выпуска готового продукта подобна систематизации процессов изготовления:

– заготовительные (литейные, кузнечные, прессовые, цехи металлоконструкций)

Заготовительные цехи реализовывают заблаговременное формообразование элементов продукта (отливка, теплая штампование, гравировка болванок и т.п.);

– обрабатывающие (механические, деревообрабатывающие, тепловые, гальванические).

В обрабатывающих цехах воспроизводится механическая, термическая, химико-термическая, гальваническая, сварка, лакокрасочные покрытия и т.п. обработка деталей;

– сборочные (цехи узловой и общей сборки, испытательные, окраски готовых машин)

В сборочных цехах осуществляется производство сборочных единиц и изделий, их регулировку, накладку, испытание.

Каждый цех основного производства включает в себя один или несколько полностью законченных процессов производства продукции или соединяет частичные процессы и операции, которые составляют одну или несколько стадий изготовления продукта.

Вспомогательные цеха – это цеха, способствующие выпуску главной продукции, которые создавая среду для нормальной работы основных цехов: оборудуют их устройствами и инструментами, оснащают дополнительными фрагментами для ремонта оборудования и осуществляет плановые ремонты, обеспечивающие энергетическими запасами. Главными из этих цехов – это инструментальные, ремонтно-механические, ремонтно-энергетические, ремонтно-строительные, модельные, штамповые и др.

Побочные цехи – в них производятся изделия из остатков сырья и материалов основного и вспомогательного производства, или восстанавливают использованные вспомогательные материалы для нужд производства. К примеру, цех производства товаров широкого потребления, цех регенерации масел, обтирочных материалов. Побочные цеха, как правило, есть только на крупных предприятиях. На средних и небольших предприятиях соответствующие подразделения считаются отделениями или производственными участками основных цехов. Побочные цеха, в основном, имеются на больших предприятиях. На средних и небольших предприятиях соответствующие подразделения считаются отделениями или производственными участками основных цехов.

На базе структуры производства формируется генеральный проект предприятия, а именно пространственное размещение всех цехов и служб, а также путей и коммуникаций на территории завода. Цехи должны располагаться в очередности исполнения производственного процесса.

А что же такое цех?

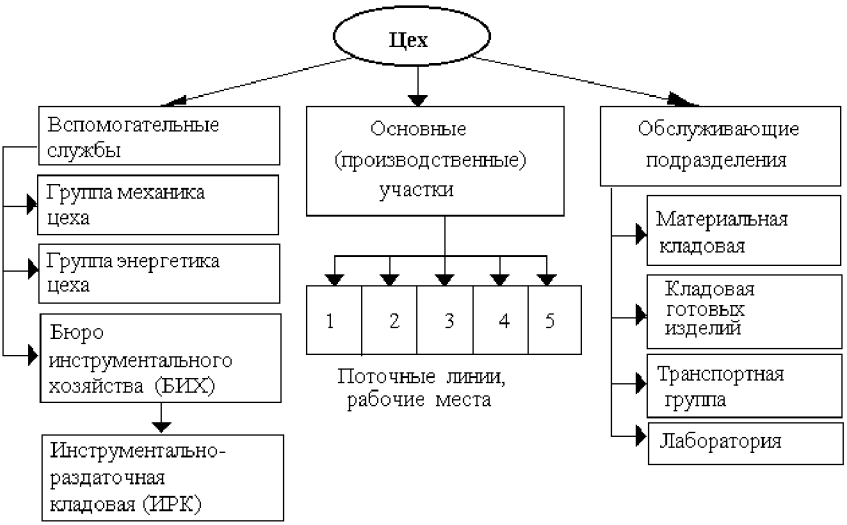


Рис. 1. Производственная структура цеха

Цехи и участки создаются по принципу специализации:

– технологической (технологическая специализация базируется на общности применяемых технологических процессов. Поэтому идет обеспечение высокой загрузкой оборудования, но тормозит оперативно-производственное планирование, увеличивается производственный цикл предприятия из-за увеличений транспортных операций. Технологическая специализация применяется в основном в единичном и мелкосерийном производствах);

– предметной (предметная специализация основывается на фокусировании деятельности участков (цехов), на производстве однородной продукции, что позволяет направлять процесс производства детали или изделия в рамках цеха (участка). Это и образует предпосылки для организации прямоточного производства, упрощает планирование и учет, сокращает производственный цикл. Предметная специализация присуща для крупносерийного и массового производств);

– предметно-замкнутой (если в рамках цеха или участка реализовывается законченный цикл производства детали или изделия, это подразделение называется предметно-замкнутым);

Структура производства на предприятии в течение длительного времени развивалась, она динамична, потому что на предприятиях происходят различные процессы: развития техники и технологии, углубления общественного разделения труда, повышения уровня организации производства, развития специализации и кооперирования, соединения науки и производства.

Список литературы

1 http://revolution.allbest.ru/management/00261883_0.html#text
2 https://www.kazedu.kz/referat/123882/2
3 http://works.doklad.ru/view/xDlA5viO8TY.html
4 http://www.aup.ru/books/m47/7_3.htm
5 *Непомнящий Е.Г.* Экономика и управление предприятием. Таганрог: ТРТУ, 1997.

THE STRUCTURE OF THE ENTERPRISE

Komina A.
Scientific adviser: Y. Bakeeva, associate professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The production structure is the relationship between the grades and the various production links in their total volume. In addition, there are two mutually complementary substructures, namely, organizational and production, characterizing the main object of production organizations from various perspectives. Any substructure acts as an independent element in relation to another structure in the organization of production.

УДК 658.5

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ 5S НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Кочерышкина Э.Г.
Научный руководитель: Р.Ф. Гарифуллин
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассмотрен инструмент бережливого производства – система организации и рационализации рабочего места 5S. Даны рекомендации по внедрению системы 5S на промышленных предприятиях.

Инструменты бережливого производства – это взаимосвязанный комплекс методов и подходов, которые позволяют оптимизировать и рационализировать производство. Главным принципом бережливого производства является исключение из деятельности организации всех действий которые не добавляют ценности продукту или услуге которые организация реализует. Бережливое производство предлагает инструментарий, который при умелом применении позволяет избавится от потерь и снизить стоимость производства.

В середине 70-х годов прошлого века, в период мирового сырьевого кризиса на японском предприятии «Тойота» была разработана система организации рабочих мест «5S». В основе нее лежит ясная и в то же время инновационная идея: все, что поддается оптимизации, должно быть оптимизировано, инновационность же заключается в том, что организация рабочего пространства рассматривается именно как система. Во время этого кризиса многие предприятия, даже мирового масштаба, снизили свое производство или разорились, а «Тойота» не только прочно стояла на ногах, но даже наращивала производство и прибыль своих акционеров.

Первым шагом в направлении повышения эффективности производства и улучшения качества продукции является наведение чистоты и порядка на рабочих местах, следствием чего должно стать повышение производительности, качества труда и дисципли-

ны в коллективе. Именно эти цели преследует система «5S».

«55» – недорогая и простая система -может быть использована в любой области. Она позволяет повысить эффективность производства, снизить потери и улучшить моральный климат в организации. К основным видам потерь при производстве относят лишние движения, производственные сбои, излишние запасы, нерациональные перевозки, простои, избыточное и неэффективное производство.

Японские исследователи считают: если менеджеры компании не могут реализовать «55», значит, они не могут эффективно управлять. Система «55» не требует для своего осуществления какого-то особого штата управленцев и не станет эффективной, пока весь персонал не будет к ней приобщен и не начнет думать об успехе этой системы. Однако если система

«55» уже внедрена, можно считать, что и другие системы почти наполовину освоены (в части дисциплинированности персонала и его готовности к осуществлению изменений).

Из отечественной практики внедрения системы «5 5» можно сделать следующие выводы:

• система применима и может успешно внедряться на отечественных объектах бизнеса и в организациях различных форм собственности;

• содержание принципов системы и технология ее внедрения требуют существенной адаптации с учетом особенностей отечественной экономики, методов организации производства и ментальности персонала;

• возможность успешного внедрения непосредственно зависит от социально-экономических условий труда на рабочих местах, то есть уровня и регулярности выплаты заработной платы, систематической и ритмичной загрузки производства, соблюдения со стороны администрации требований к безопасным условиям труда.

Система «55» позволяет практически без капитальных затрат не только повышать производительность, сокращать потери, снижать уровень брака и травматизма, но и создавать необходимые стартовые условия для реализации сложных и дорогостоящих производственных и организационных инноваций, обеспечивать их

высокую эффективность (в первую очередь, за счет радикального изменения отношения работников к своему делу).

Система «55» на первый взгляд предъявляет достаточно простые требования к организации рабочих мест и производства в целом. У руководства и коллектива предприятия может возникнуть иллюзия, что эти требования легко выполнить, например, с помощью одного-двух субботников. Проблема заключается в том, что система «55» является эффективной лишь при систематическом соблюдении всех ее условий. Известно, что, как часто ни проводи субботники, объем работ для них найти можно, то есть психология субботника, аврала коренным образом отличается от психологии постоянных усилий, совершенствований по поддержанию порядка и чистоты на рабочих местах, которые требует система «55». Освоение системы «55» в масштабах предприятия влияет практически на все характеристики предприятия.

Опыт применения системы «55» в промышленно развитых странах показывает, что ее использование повышает эффективность хозяйственной деятельности на 3-5 %. Применение же системы в течение года на некоторых российских предприятиях дало следующие результаты: уровень травматизма и несчастных случаев снизился почти в 3 раза, производительность повысилась почти на треть, существенно улучшилось качество выпускаемой продукции, сократились складские запасы, что способствовало улучшению показателей оборачиваемости, и, самое главное, -изменилось отношение людей к труду.

Большинство результатов применения системы «55» не имеют количественных характеристик. Это:

– повышение дисциплинированности и ответственности персонала, который приобретает навыки сознательного, качественного выполнения своих обязанностей;

– повышение надежности и качества работы оборудования, которое содержится в надлежащем состоянии;

– обеспечение жизнеспособности производства в кризисных условиях благодаря способности коллектива к строгому выполнению решений руководства, мобилизации сил и резервов для решения поставленных задач;

– повышение квалификации менеджеров предприятия, получивших опыт решения разнообразных проблем совершенствования производства и изменения отношения работников к своим обязанностям;

– повышение конкурентоспособности предприятия, так как чистота и порядок в глазах потенциальных заказчиков – это всегда признак высокого уровня организованности, способности предприятия качественно и в срок выполнить требуемую работу;

– готовность предприятия к более радикальным действиям по приобретению нового оборудования, изменению объектов производства, структуры предприятия и т.п., так как эффективность этих действий во многом зависит от ответственности и квалификации работников.

Соблюдение принципов чистоты и порядка, дисциплины и ответственности полезно не только в производственных условиях, но и во всех сферах человеческой деятельности, в том числе в быту. Система эффективна как на производственном участке, так и в офисе, и в научной лаборатории.

Этапы внедрения системы «5S»:

Подготовительный этап состоит из разработки программы обучения сотрудников, проведение обучения и создания рабочей группы из администрации и производственного персонала.

Этап сортировки. На этом этапе рабочая группа идентифицирует проблемные участки, формирует перечень предметов, которые находятся в рабочей зоне, но не используются, либо используются не по назначению. Все предметы сортируются на три группы: нужное, не нужное и неопределенное. Нужное оставляется, от ненужного избавляются, неопределенное помещается в карантинную зону. На карантинной зоне необходимо установить срок, по истечении которого, предметы ликвидируются.

Этап размещения. На данном этапе необходимо провести всесторонний анализ размещения инструментов, материалов, оснастки и т.д. Все вышеперечисленные предметы должны соответствовать требованиям безопасности, эффективности и качества. Другими словами, предметы должны находится на видном месте, ими можно легко воспользоваться и так же легко вернуть на место.

В случае отсутствия удобного доступа к инструментарию, необходимо пересмотреть компоновку рабочих мест.

Этап наведения порядка. На этом этапе происходит тщательная уборка рабочих мест, центров коллективного пользования и т.д. Рабочие места должны быть разбиты на зоны. Рабочие зоны необходимо наглядно выделить и снабдить необходимыми инструкциями, схемами и картами. За каждой зоной необходимо закрепить ответственного, который будет отвечать за чистоту и порядок. Помимо определения ответственного, должно быть четко установлено время и регламент уборки.

Этап стандартизации. На данном этапе разрабатываются основные документы, делаются фотографии рабочих мест, создаются рабочие инструкции. Помимо этого, разрабатывается регламент уборки рабочих мест, в котором четко обозначены зоны ответственности и порядок операций.

Этап совершенствования. На данном этапе проводятся работы по поддержанию текущего состояния и намечаются шаги по дальнейшим улучшениям. Рабочие места анализируются и рационализируются, подстраиваются под внешние и внутренние изменения.

При всей кажущейся несерьезности проделанной работы нужно понимать, что «5S» на самом деле преследует не цель мгновенного получения эффекта без вложения каких-либо материальных ресурсов, а создание в большей мере некой философии порядка и самодисциплины. Следование «5S» – это помимо очевидных преимуществ - еще и вовлечение персонала в процесс улучшения; воспитание самодисциплины, оздоровление морали и мотивации коллектива.

Список литературы

1. *Ахмадиев Р.Я., Мингалеев Г.Ф., Гарифуллин Р.Ф.* Применение принципов бережливого производства в формализации бизнес-процессов в техническом университете // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 1. С. 148–152.

2. *Гарифуллин Р.Ф.* Стратегии инновационного развития

предприятия машиностроения // Вопросы инновационной экономики. 2011. № 6 (6). С. 27–34.

3. *Гарифуллин Р.Ф.* Инструменты бережливого производства для повышения конкурентоспособности промышленных предприятий // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 10 (66). С. 170–173.

4. *Гарифуллин Р.Ф.* Повышение безопасности логистических операций за счет внедрения носимых устройств // Вестник НЦБЖД. 2016. № 4 (30). С. 11–14.

5. *Гарифуллин Р.Ф.* Стратегии, планирование и достижение цели // Экономика, предпринимательство и право. 2011. № 6. С. 11–17.

6. *Гарифуллин Р.Ф., Антропова Т.Г., Сафиуллин А.Р., Валитов Ш.М.* Проблемы и ограничения внедрения системы организации и рационализации рабочего места на промышленном предприятии // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 4. С. 63–66.

7. *Гарифуллин Р.Ф., Бабушкин В.М., Зилянева О.Е.* Применение методики выездного экспресс-аудита для оценки состояния производственных процессов предприятия // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 3. С. 101–106.

8. *Гарифуллин Р.Ф., Николаенко Ю.В.* Алгоритм технического перевооружения на основе методов планирования инноваций // Вестник экономики, права и социологии. 2012. № 2. С. 22–27.

9. *Гарифуллин Р.Ф., Нугуманова Л.Ф., Антропова Т.Г., Ведин Н.В.* Оптимизация производственных процессов предприятия с использованием принципов и инструментов бережливого производства // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 4. С. 67–70.

10. *Зибрева Е. М., Гарифуллин Р. Ф.* Классификация стратегий инновационного развития промышленного предприятия // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2012. № 1. С. 22–24.

11. *Сафаргалиев М.Ф., Гарифуллин Р.Ф.* Критерии качественной оценки инновационной деятельности промышленных

предприятий // В мире научных открытий. 2012. № 10. С. 83–93.

12. *Телишев А.М., Гарифуллин Р.Ф., Зилянева О.Е.* Разработка рекомендаций по совершенствованию информационной среды промышленного предприятия // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 3. С. 74–77.

INTRODUCTION OF 5S SYSTEM IN AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Kocheryshkina E.
Supervisor: R. Garifullin
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

The tool of lean production is considered – the system of organization and rationalization of the workplace 5S. Recommendations on the introduction of the 5S system at industrial enterprises are given.

УДК 658.5

ВНЕДРЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА УЧАСТКЕ ВНЕСТАПЕЛЬНОЙ СБОРКИ

Романова А.Н.
Научный руководитель: Р.Е. Моисеев
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассмотрены виды потерь, выявленные на предприятии. Даны рекомендации по устранению данных видов потерь на участке внестапельной сборки фюзеляжа Ансат. Проведен предварительный анализ экономии времени после внедрения быстрой переналадки.

В настоящее время известно достаточно большое количество различных способов и инструментов по повышению разнообразных производственных показателей и уменьшению затрат и потерь. Среди них ярко выделяется концепция бережливого производства.

В теории и практике применяется методика бережливого производства, которая представляет совокупность инструментов и методов, направленных на сокращение или устранение всех видов потерь. На сегодняшний день бережливое производство позволяет выявить источник потерь, поиск решения по борьбе с ними при минимальных затратах и вывод предприятие из кризисной ситуации.

В ходе прохождения преддипломной практики на ПАО «Казанский вертолетный завод» мной были проведены исследования, вследствие которых выявлены следующие виды потерь:

1. Ожидание – возникает вследствие несвоевременного заказа деталей. Рабочие не могут выполнить ту или иную операцию, закончить сборку фюзеляжа.

2. Лишние движения – из-за отсутствия четкого разграничения на зоны и конвейерной сборки фюзеляж полностью собирается на «одном месте», а необходимые инструменты, стремянки размещены по всему участку. Рабочим при этом приходится выполнять

лишние движения.

3. Дефект «процесс некачественного клепания» – связан с отсутствием деталей. Так как конструктор не подготовил документы и мастер не смог сделать заявку вовремя, поэтому диспетчер ПДБ не заказал детали.

1. Для устранения потери «ожидание поставки комплектующих на участок» используем карточки канбан. С помощью данного метода производство будет осуществляется в соответствии со следующим правилом: участок снабжается комплектующими в конкретном количестве и к четко определенному сроку, необходимому для выполнения некоторой операции.

Для максимальной продуктивности системы канбан используем доску, которая послужит местом сбора активных карточек. Таким образом, карточки, которые пребывают к производителю, помещаются в управляющую доску, откуда рабочий знает сколько деталей и комплектующих ему понадобится для совершения операции.

2. Для устранения потери «лишние движения» используем метод визуализации – разделение на зоны. Выделим следующие 2 зоны:

- до установки капотов и шасси;
- установка капотов и шасси.

В данных зонах будут расположены все необходимые материалы, комплектующие и оборудования для выполнения операций. Рабочим не нужно будет перемещаться по всему участку в поисках инструментов и материалов, для этого оконтурим, т.е обведем контуром инструменты, оборудования там, где они должны постоянно храниться. А для большей эффективности данный метод используем совместно с инструментом 5С.

Главная цель 5С – создание ясной, понятно организованной окружающей среды - среды, где определено место для каждой вещи, и все они находятся на своем месте.

- сортируем – обычно рабочие хранят ненужные инструменты на рабочем месте «на всякий пожарный случай», создавая при этом беспорядок и препятствуя перемещению в рабочей зоне. Ненужные инструменты помещаем в «зону карантина». Предметы,

остающиеся нетронутыми более 30 дней, удаляются с рабочего места навсегда;

- соблюдаем порядок, т.е определяем для каждой вещи свое место рядом с местом его использования;
- содержим рабочее место в чистоте – уборка в начале и/или конце каждый смены;
- стандартизируем процедуру поддержания чистоты и порядка, созданием стандарта чистоты и контрольного листа по проверке эффективности внедрения системы 5С, размещенных на стенде);
- совершенствуем порядок, стимулируем его поддержание – каждый должен видеть, какие преимущества он получает от системы 5С, включая растущую безопасность.

Также для того чтобы исключить лишние передвижения персонала используем «конвейерную» сборку фюзеляжа. С помощью рельс фюзеляж будет перемещаться, точно по конвейеру, из одной зоны в другую.

Сборщикам не придется снимать фюзеляж с рельс и устанавливать на ложементы, он самостоятельно будет перемещаться с помощью тележки.

3. Для устранения дефекта «процесса некачественного клепания» используем метод встроенного качества. При реализации концепции встроенного качества осуществляется последовательный анализ несоответствий, выявление их первопричин, разработка корректирующих мероприятий и контроль результатов. При данном методе помимо «самоконтроля» используем и «контроль со стороны», т.е. на участок внестапельной сборки приходит контролер с цеха № 10 «Монтажно-сборочный цех» и все несоответствия прописывает в чек-листе, который затем передается в зону, допустившей данный дефект. Т.е. с помощью чек-листа соблюдается правило «3 НЕ» Дзидоки:

- не производи брак;
- не передавай брак;
- не принимай брак.

В ходе проведения анализа предлагается произвести изменения в планировке участка (рис. 1).

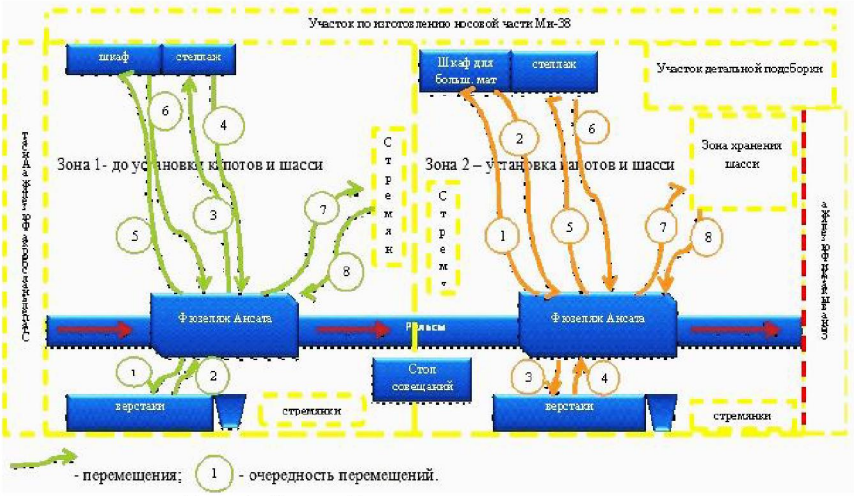


Рис. 1. Схема будущего состояния участка

Данные мероприятия позволят получить экономический эффект на участке внестапельной сборки фюзеляжа Ансат в размере 1797379,4 руб.

Список литературы

1. *Надреева Л.Л., Моисеев Р.Е., Зверев А.В.* Роль активных методов обучения в формировании lean-мышления // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. С. 557.

2. *Гарифуллин Р.Ф., Николаенко Ю.В.* Алгоритм технического перевооружения на основе методов планирования инноваций // Вестник экономики, права и социологии. 2012. № 2. С. 22–27.

3. *Гарифуллин Р.Ф., Нугуманова Л.Ф., Антропова Т.Г., Ведин Н.В.* Оптимизация производственных процессов предприятия с использованием принципов и инструментов бережливого производства // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 4. С. 67–70.

4. *Николаенко Ю.В.* Совершенствование и организация производственного процесса промышленного предприятия на основе инновационных методов / Вестник Казанского государственного

технического университета им. А.Н. Туполева. 2013. № 2-1. С. 199–203.

5. *Николаева А.Б.* Оценка эффективности внедрения бережливого производства на промышленных предприятиях / Вестник экономики, права и социологии. 2016. № 4. С. 69–72.

INTRODUCTION OF LEAN PRODUCTION TOOLS ON THE SITE VASTAPAINO ASSEMBLY

Romanova A.
Supervisor: R. Moiseev
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

The tool of losses identified at the enterprise are considered. Recommendations are given for eliminating these types of losses in the area of the off-assembly fuselage assembly of Ansat. Preliminary analysis of the time savings after the introduction of rapid changeovers.

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

Русскова Г.А.
Научный руководитель: В.А. Абрамов, канд. экон. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань)

Финансовые результаты предприятия в значительной мере зависят от состояния основных средств, их качества и структуры. Для повышения эффективности использования основных средств предприятия чаще всего отдают предпочтение в своей инновационной деятельности внедрению новой техники и технологии, так как они непосредственно влияют на эффективность производства.

В условиях жестокой конкуренции ни одно предприятие не сможет долго существовать, не внося заметных усовершенствований в свою работу. Внедрение нововведений осуществляется, как правило, по следующим направлениям:

- освоение новой и модернизация выпускаемой продукции;
- внедрение в производство новых технологий, машин, оборудования, инструмента и материалов;
- использование новых информационных технологий и новых способов производства продукции;
- совершенствование и применение новых прогрессивных методов, средств и правил организации и управления производством.

Таким образом, в результате внедрения технологии в деятельность предприятия повышается качество изделий и прогрессируют их характеристики, а также совершенствуются средства, методы и организация производства.

Несомненно, внедрение новых машин, аппаратов и механизмов позволяет механизировать производственные процессы, способствует улучшению качества вырабатываемой продукции, облегчает условия труда и повышает культуру производства. Внедрению новых технологий и капитальных вложений отводится важное ме-

сто в экономике промышленного производства. Так же, она является критерием целесообразности создания и применения новой техники, реконструкции действующих предприятий, а также мер по совершенствованию производства и улучшению условий труда. Необходимо отметить, что на сегодняшний день в нашей стране быстрыми темпами происходит автоматизация производства. Это позволяет существенно уменьшить число рабочих мест на предприятиях и тем самым увеличить доход на этих предприятиях.

Целью внедрения новой техники является уменьшение стоимости товара, а значит и цены товара, удешевление его, т.е. сокращение рабочего времени на производство единицы товара, сокращение материальных затрат, увеличение мощности основных фондов и т.п. Так же, в условиях рынка, внедрение новой техники способствует выполнению основной задачи предприятия - получение максимальной прибыли при минимальных затратах. Однако, прирост прибыли, полученной благодаря расширению объемов производства, является, также как и прирост прибыли от снижения себестоимости продукции, частью эффекта полученного от внедрения новой техники.

В связи с этим, улучшение эффективности производственной деятельности предприятий в значительной степени достигается за счет ежегодного внедрения значительного количества новой техники. Среди таких мероприятий ведущая роль принадлежит тем из них, которые обеспечивают повышение технического уровня производства и качества продукции.

Проблематика внедрения прогрессивных технологических процессов и новой техники в нашей стране в связи с происходящим экономическим кризисом приобретает особое значение. Для того, чтобы внедрение новой технологии было эффективным, необходимы такие их качества как адаптивность, гибкость, способность к «встроенности» в старое производство, возможности синергизма, чёткая стратегия, наличие патентов и лицензий на технологию, высококвалифицированный персонал, необходимые организационно-управленческие структуры. Следует отметить, что все эти понятия невозможно свести к какому-то единому показателю, поэтому качество технологии определяет непосредственно рынок, а критери-

ем всего многообразия свойств выступает экономическая эффективность.

Под эффективностью использования основных средств понимается получение максимальной прибыли от их эксплуатации за определенный промежуток времени.

Таким образом, в процессе разработки планов и проведения анализов их выполнения важно определить, какое влияние оказало внедрение прогрессивных технологических процессов и новой техники на экономическую эффективность производства в целом. Среди показателей повышения экономической эффективности мероприятий по техническому и организационному развитию можно выделить следующие:

- приращение производительности труда, относительное отклонение численности работающих и фонда оплаты труда;
- приращение материалоотдачи (снижение материалоёмкости), относительное отклонение в затратах материальных ресурсов;
- приращение фондоотдачи (снижение фондоёмкости) основных средств, относительное отклонение основных средств;
- приращение прибыли или себестоимости продукции;
- приращение показателей финансового состояния и платёжеспособности предприятия.

Необходимо отметить, что предлагаемая система показателей экономической эффективности новой техники едина для всех отраслей промышленного производства.

Список литературы

1. *Зимин Н.Е.* Анализ и диагностика финансового состояния предприятий: Учебное пособие. – М.: «ИКФ» ЭКОМС», 2014. – с. 240–244.

2. *Олейник И.С., Коваль И.Г.* Финансовый менеджмент. – Обнинск, 2015. – с. 187 – 190.

3. *Павлов Л.Н.* Финансовый менеджмент. Управление денежным оборотом предприятия. – М.: Финансы и статистика, 2015. – с. 103–108.

THE QUESTION ABOUT THE IMPACT OF NEW EQUIPMENT AN TECHNOLOGIES FOR PRODUCTION EFFICIENCY

Russkova G.
Supervisor: V. Abramov, Ph.D., Associate Professors
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The financial results of enterprises largely depend on the state of fixed assets, their quality and structure. To improve the efficiency of use of assets of the company often give preference in their innovative activities introduction of new technology, as they directly affect production efficiency.

УДК 331

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧИХ НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ 5S

Сарбаева А.А., Кадырова Д.Р., Сафиуллова Р.Ш.
Научный руководитель: Л.Л. Надреева, канд. экон. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В условиях ожесточенной конкуренции и рыночной экономики предприятия стремятся выйти на новый уровень развития и организации рабочего места с целью минимизации затрат на процесс производства, повышения производительности за счет удобного расположения рабочих мест, избавляясь от ненужных предметов, повышения уровня безопасности рабочего места, улучшения качества продукции и снижения количества дефектов. Все эти факторы учитываются в системе бережливого производства, а именно в ее базовом инструменте – методике 5S.

Результативное управление компанией становится главным ключом к успеху и процветанию в современных жестких условиях конкурентной борьбы за потребителя.

Цель написания данной статьи – это анализ внедрения системы «5S» для поддержания эффективной и производительной рабочей среды предприятий (на примере фирмы «Фойт Турбо Германия» на дочернем предприятии ООО «Фойт Турбо»).

Актуальность темы исследования заключается в том, что данный подход на сегодняшний день позволяет практически без капитальных затрат навести порядок на производстве и повысить производительность, сократить потери, понизить уровень брака и травматизма.

Прежде всего, считаем необходимым определить место рассматриваемой системы в организации труда.

Содержание организации труда определяется совокупностью ее элементов, которые составляют организационную систему. В основе формирования основных направлений научной организации труда (НОТ) лежит процесс совершенствования элементов данной

системы.

К важнейшим направлениям совершенствования организации труда на предприятии относятся:

– совершенствование разделения и кооперации труда: рационализация технологического, функционального и квалификационного разделения труда; внедрение многостаночного (многоагрегатного) обслуживания.

– совершенствование организации, планирования и обслуживания рабочих мест: рациональная планировка рабочих мест и их цепочки по участку, цеху; организационно-техническая оснащенность рабочих мест;

– улучшение условий труда: нормализация санитарно-гигиенических условий работы; обеспечение требований охраны труда; обеспечение нормальных психофизиологических условий труда;

– совершенствование организации подбора, подготовки и повышения квалификации кадров: обеспечение подготовки и переподготовки кадров в соответствии с потребностями производства[1];

– изучение и внедрение передовых приемов и методов труда: рационализация трудовых приемов и движений; внедрение прогрессивных методов труда в пределах смены; инструктаж исполнителей и обучение их передовым приемам и методам труда[2],

– совершенствование нормирования труда: разработка и внедрение технически обоснованных норм; совершенствование организации нормировочной работы [3];

– рациональная организация стимулирования труда: совершенствование форм коллективного стимулирования трудовых коллективов; применение эффективных систем индивидуального премирования;

Лишь при учете всех взаимосвязей НОТ с технико-технологическими факторами, организацией производства и управлением обеспечивается максимальный социально-экономический эффект от совершенствования организации труда по всем его направлениям. Совершенствование рабочих мест может быть успешным только тогда, когда с самого начала поиска улучшений к

этому привлекаются люди, которым предстоит реализовать новинки в повседневной работе [4].

На дочернем предприятии ООО «Фойт Турбо» была внедрена система 5S. 5S — система организации и рационализации рабочего места (рабочего пространства), один из инструментов бережливого производства (БП).

Цели системы 5S:

- Снижение числа несчастных случаев;
- повышение уровня качества продукции, снижение количества дефектов;
- создание комфортного психологического климата, стимулирование желания работать;
- унификация и стандартизация рабочих мест;
- повышение производительности труда за счёт сокращения времени поиска предметов [5].

Далее выделим шаги системы 5S.

Шаг 1. Сортировка (нужное-ненужное)

Все материалы, оборудование и инструмент сортируют на: нужные всегда, нужные иногда, ненужные.

В процессе сортировки ненужные предметы помечают «красной меткой» и затем удаляют из рабочей зоны.

Шаг 2. Систематизация: рациональное размещение предметов

Шаг 3. Содержание в чистоте

Рабочая зона должна поддерживаться в идеальной чистоте.

Шаг 4. Стандартизация

Этот принцип требует формального, письменного закрепления правил содержания рабочего места, технологии работы и других процедур.

Шаг 5. Соблюдение правил и совершенствование

Выработка привычки ухода за рабочим местом в соответствии с уже существующими процедурами, а также неуклонное совершенствование самой системы.

С внедрением системы 5S нарушения на фирме ООО «Фойт Турбо» были устранены. Документация на рабочих местах стала храниться в нужном порядке – по степени конфиденциальности и

доступности. Каждый рабочий имеет свое рабочее место и рабочую зону с рациональной планировкой [6].

До внедрения системы 5S стол приёмщика был расположен на противоположном конце склада от погрузо-разгрузочных ворот (30 м до стола). Каждый поддон сначала подвозился к столу приемщика, где он оприходовал товар (на компьютере), а затем уже товар развозился по своим местам на складе. В день принимается порядка 50 поддонов, и столько же отгружают. Таким образом, расстояние перемещения 100 поддонов составляет 3000 м, то есть три километра в день. Для устранения излишних перемещений стол приёмщика размещен рядом с воротами.

С внедрением системы 5S на фирме ООО «Фойт Турбо» каждое рабочее место стало индивидуальным. Свое индивидуальное рабочее место работник организовывает сам.

Планирование общего шкафа с документами, принтер, рабочее место, которыми пользуется несколько человек – нужно обсудить вместе. Заранее выбирается руководитель, который принимает решения, если консенсус не получится [7].

На каждом рабочем месте предметы, которые чаще используются, лежат ближе к работнику. Зоны на рабочих местах выделены цветной изолентой. Таким образом, каждый предмет подписан и находится на своем месте (степлер, ручки, ножницы, документы, мобильный телефон и т.д.).

Хранение в точке использования – это идеальное решение для часто используемых предметов. Не допускается хранение несортированных бумаг. Степлером их скрепляют по темам и вместо, к примеру 100 бумаг, получается 11 стопок по 11 вопросам (психологически гораздо легче). Каждое рабочее место содержится в чистоте. Провода, а также все, что может упасть или нанести травму, закреплено.

Таким образом, система 5S не требует существенных затрат, а ее успех целиком зависит от всеобщего понимания важности проводимых изменений [8]. Результатом работ должны являться не только чистое, аккуратное рабочее место, но и безопасное и максимально эргономичное. Более того, работники и руководители должны следовать новым стандартам, не только поддерживать чи-

стоту и порядок, но и улучшать рабочее место и соответствующие стандарты, вырабатывая новые привычки. При соответствующей мотивации производительность труда персонала существенно возрастает, что свидетельствует о достижении поставленной цели [8].

Список литературы

- *Надреева Л.Л., Мельничнов В. В., Сивко М. В.* Кадровое обеспечение инновационной деятельности // Вестник Казанского государственного технического университета им. А Н Туполева. – 2016. – Т. 72. № 1. С. 158–165.
- *Гртова Е.С.* Социально-экономическая эффективность подготовки кадров. Сборник научных трудов / Е. С. Гуртова. — Свердловск: Экономика, 2014. — 140 с.
- *Надреева Л.Л., Ахметова И.А., Шигапова Д.К.* Анализ состояния нормирования труда на предприятиях Республики Татарстан // Экономический вестник Республики Татарстан. – 2013. № 4. С. 53–59.
- *Мумладзе Р.Г., Гужина Г.Н.* Экономика и социология труда. Учебник. – М: КНОРУС, 2007. – 328 с.
- Система организации и рационализации рабочего места 5S [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/5S
- Организация Фойт Турбо Казань [Электронный ресурс]. URL:http://kazanx.ru/firmy/fojt~turbo~kazan.html
- Voith in Germany[Электронныйресурс]. URL:http://voith.com/ger-en/80.htm
- *Надреева Л.Л., Моисеев Р.Е., Зверев А.В.* Роль активных методов обучения в формировании LEAN-мышления // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 5. С. 557.

IMPROVING THE ORGANIZATION OF WORKERS THROUGH THE IMPLEMENTATION OF 5S

Sarbaeva A., Kadyrova D., Safiullova R.
Supervisor: L. Nadreeva, PhD in economics, professor
(*Kazan National Research Technical*

University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

In the conditions of fierce competition and a market economy, striving to reach a new level of development and organization of working time, increasing productivity through convenient location of jobs, getting rid of unnecessary items, improving the level of site security, improving product quality and reducing the number of defects. All these factors are taken into account in the lean manufacturing system, namely in its basic tool - the 5S technique.

УДК 658.5

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Семенова Г.С., Кадырова Д.Р., Аханова О.В.
Научный руководитель: Р.Ф. Гарифуллин
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Статья посвящена вопросам использования информационных технологий в управлении предприятием. В работе рассмотрены различные виды информационных технологий, применяемые на каждом уровне управления.

В настоящее время взрывное развитие мировой экономической системы, позволяет говорить об огромной потребности в точной и достоверной информации, что обеспечивает развитие и все более эффективное использование информационных технологий (ИТ). Под воздействием новых ИТ, основанных на компьютерной технике, происходят глобальные изменения в технологии управления, а именно, автоматизируются процессы принятия управленческих решений, совершенствуется организация их выполнения, повышается квалификация управленческого персонала. Уровень информатизации является сегодня одним из главных факторов успешного развития любого предприятия.

Информационная технология – это процесс, использующий совокупность средств и методов сбора, обработки и передачи данных для получения информации нового качества о состоянии объекта, процесса или явления.

Основная цель ИТ – получать посредством переработки первичных данных информацию нового качества, на основе которой принимается оптимальные управленческие решения. ИТ справляется с существенным увеличением объемов перерабатываемой информации и способствует сокращению сроков ее обработки. ИТ является наиболее важной составляющей процесса использования информационных ресурсов в управлении. Автоматизированные

информационные системы (АИС) для ИТ – это основная среда, составляющими элементами которой являются средства и способы для преобразования данных.

В соответствии с различными сферами управления на предприятии, области применения ИТ делятся на:

– ИТ ввода, обработки и хранения информации;
– ИТ защиты информации;
– ИТ управления производственными процессами.

Ввод и обработка данных на современном машиностроительном предприятии составляют неотъемлемую часть его работы. Сегодня уже невозможно представить работу фирмы без использования компьютерных систем управления информацией.

К данной группе относятся следующие виды ИТ:

– аппаратные средства (ПК, офисная техника, устройства обеспечения локальной сети и доступа в интернет, устройства внешней памяти). Все эти средства являются инструментом управления информацией.

– программные средства (программные продукты ввода и обработки информации). К данной группе относятся операционные системы и программное обеспечение (ПО) по непосредственному вводу и обработке информации. При этом можно выделить как ПО общего назначения, так и специальное ПО.

Правильный набор этих технологий, а также их логичное взаимодействие друг с другом, помогут предприятию грамотно выстроить функционирование всех отраслей.

ИТ управления производственными процессами включают в себя программные средства и методы принятия решений в различных областях деятельности компании: финансы, производственный цикл, управление качеством, проектирование.

ИТ управления должна решать задачи стратегического и тактического планирования, бухгалтерского учета и оперативного управления фирмой. Используя оперативную информацию, полученную в ходе использования АИС, руководитель может спланировать и сбалансировать ресурсы фирмы (материальные, финансовые и кадровые), просчитать и оценить результаты управленческих решений, наладить оперативное управление себестоимостью продук-

ции (товаров, услуг), ходом выполнения плана, использованием ресурсов и т. д.

В каждой организации можно выделить три уровня управления: стратегический, тактический и оперативный уровень. При этом каждый из них требует применения собственных ИТ (рис. 1).

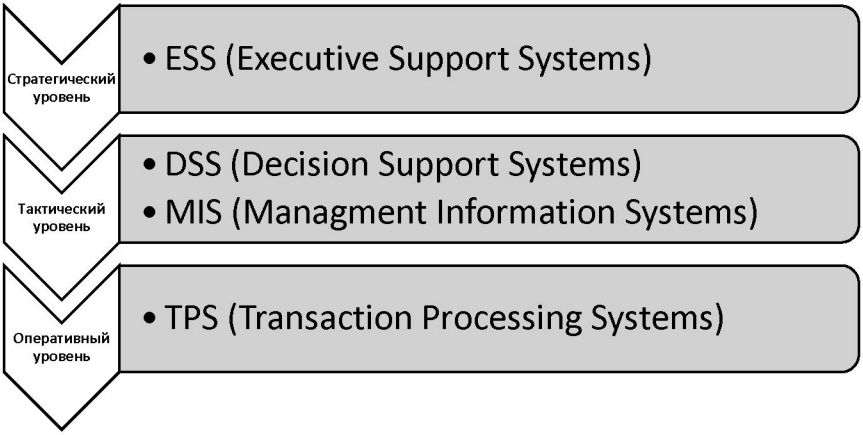


Рис. 1. ИТ по уровням управления

Следует подробнее рассмотреть каждый из этих видов ИТ:

TPS – транзакционные технологии предназначены для ежедневной обработки информации, поступающей в компанию в виде документов, что позволяет создавать различные отчеты, сводки, ведомости. Такого рода результирующие документы необходимы для оперативного управления производственного, снабженческого, реализационного или иного процесса.

MIS – технологии поддержки управленческих функций предназначены для автоматизации планирования на предприятии, а также для организации контроля над ходом выполнения планов производства и реализации продукции.

DSS – технологии поддержки принятия решений необходимы для формирования управленческих решений тактического уровня. Исходной информацией здесь служат не ежедневно поступающие сообщения, а специально накопленные данные за длительный пе-

риод, позволяющие определять тенденции процессов или событий в различных разрезах.

ESS – технологии интеллектуальной обработки данных используются в том случае, если необходимо решить слабоструктурированные задачи, отличающиеся нечеткими характеристиками.

Для того чтобы ИС на разных уровнях управления могли взаимодействовать друг с другом, они должны быть созданы в соответствии со стандартами открытых информационных систем. Так на всех уровнях иерархии обеспечивается интеграция информационных технологий. Открытая информационная система – это система, которая способна взаимодействовать с другими системами посредством использования стандартов.

Таким образом, информация – источник принятия правильного решения для конкурентоспособных изменений. Создание корпоративной информационной системы, обеспечивающая оперативное и эффективное управление, обеспечивает и поддерживает конкурентоспособность современного предприятия.

Список литературы

1. *Ахмадиев Р.Я., Мингалеев Г.Ф., Гарифуллин Р.Ф.* Применение принципов бережливого производства в формализации бизнес-процессов в техническом университете // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 1. С. 148–152.

2. *Гарифуллин Р.Ф.* Стратегии инновационного развития предприятия машиностроения // Вопросы инновационной экономики. 2011. № 6 (6). С. 27–34.

3. *Гарифуллин Р.Ф.* Инструменты бережливого производства для повышения конкурентоспособности промышленных предприятий // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 10 (66). С. 170–173.

4. *Гарифуллин Р.Ф.* Повышение безопасности логистических операций за счет внедрения носимых устройств // Вестник НЦБЖД. 2016. № 4 (30). С. 11–14.

5. *Гарифуллин Р.Ф.* Стратегии, планирование и достижение цели // Экономика, предпринимательство и право. 2011. № 6.

С. 11–17.

6. *Гарифуллин Р.Ф., Антропова Т.Г., Сафиуллин А.Р., Валитов Ш.М.* Проблемы и ограничения внедрения системы организации и рационализации рабочего места на промышленном предприятии // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 4. С. 63–66.

7. *Гарифуллин Р.Ф., Бабушкин В.М., Зилянева О.Е.* Применение методики выездного экспресс-аудита для оценки состояния производственных процессов предприятия // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 3. С. 101–106.

8. *Гарифуллин Р.Ф., Николаенко Ю.В.* Алгоритм технического перевооружения на основе методов планирования инноваций // Вестник экономики, права и социологии. 2012. № 2. С. 22–27.

9. *Гарифуллин Р.Ф., Нугуманова Л.Ф., Антропова Т.Г., Ведин Н.В.* Оптимизация производственных процессов предприятия с использованием принципов и инструментов бережливого производства // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 4. С. 67–70.

10. *Зибрева Е.М., Гарифуллин Р.Ф.* Классификация стратегий инновационного развития промышленного предприятия // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2012. № 1. С. 2224.

11. *Сафаргалиев М.Ф., Гарифуллин Р.Ф.* Критерии качественной оценки инновационной деятельности промышленных предприятий // В мире научных открытий. 2012. № 10. С. 83–93.

12. *Телишев А.М., Гарифуллин Р.Ф., Зилянева О.Е.* Разработка рекомендаций по совершенствованию информационной среды промышленного предприятия // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 3. С. 74– 77.

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE MANAGEMENT OF THE ENTERPRISE

Semenova G., Kadyrova D., Akhanova O.
Supervisor: R. Garifullin
(*Kazan National Research Technical*
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Information technologies in enterprise management are considered in the article. Information technologies for each level of management at the enterprise are considered.

УДК 658.5

МЕТОДИКА ВНЕДРЕНИЯ БЫСТРОЙ ПЕРЕНАЛАДКИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Сибагатуллина Л.И.
Научный руководитель: Р.Ф. Гарифуллин
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассмотрен инструмент бережливого производства – быстрая переналадка (SMED). Даны рекомендации по использованию данного инструмента на промышленных предприятиях. Проведен предварительный анализ экономии времени после внедрения быстрой переналадки.

Одним из наиболее эффективных инструментов бережливого производства можно назвать систему быстрой переналадки. Быстрая переналадка (SMED) – это быстрая переналадка производственного оборудования, которая базируется на выделении внутренних и внешних операций, и устранении всех непроизводственных операций. Данная система направлена на трансформацию крупносерийного поточного производства в мелкосерийное или даже единичное производство. Данное изменение позволит сократить время исполнения заказов.

Обычно все процедуры переналадки оборудования имеют схожие черты, но большая часть процедуры переналадки будет зависеть от специфики оборудования и производства. Все операции переналадки состоят из перечня стандартных этапов. Это подготовка оборудования и станков, демонтаж и монтаж оснастки, настройка и калибровка оборудования, тестовые запуски и возможные корректировки после тестов.

Основная идея системы быстрой переналадки основана на переходе всех операций по переналадки из внутренних во внешние, а также в минимизации затрат времени на внутренние переналадки.

Шаг 1. Операции необходимо разделить на внешние и внутренние. На первом и наиболее важном шаге весь процесс переналадки надо четко разделить на внутренние и внешние операции.

Внешние операции по переналадке можно осуществлять при работающем оборудовании. Например, подготовка оснастки, транспортировка необходимых деталей от склада к станку и т.д. Внутренние операции осуществляются только при выключенном и остановленном оборудовании.

Вся суть шага сводится к тому что отдельные операции можно выполнить до того, как оборудование и процесс производства остановится. Все вышеописанные операции, которые можно выполнять при включённом оборудовании зачастую выполняются только после его остановки. Если выделить эти операции в отдельный процесс, то можно оптимизировать время простоя оборудования более чем на 50 процентов. Для того что бы разделить операции на внутренние и внешние применяют три инструмента. Это использование контрольных листов, функциональные проверки и рационализация операционной логистики.

Первый шаг помогает сократить общее время переналадки оборудования. Однако сокращение длительности переналадки не слишком велико, в связи с этим необходим следующий шаг, на котором максимальное количество внутренних операций необходимо трансформировать во внешние.

Шаг 2. Внутренние операции необходимо трансформировать во внешние. На этом шаге необходимо трансформировать как можно больше внутренних операций во внешние, т.е. в операции, которые могут осуществляться на работающем оборудовании. Внедрение этого шага осуществляется в два этапа.

На первом этапе проходит анализ всех операций, осуществляемых в процессе внутренней переналадке и определение их функционала. Без всестороннего анализа типовой переналадки, принятой на предприятии невозможно двигаться вперед. Необходимо критически взглянуть на типовые процессы и не позволять своим привычками и взглядам помешать процессу оптимизации переналадки.

На втором этапе проходит поиск возможностей преобразования внутренних операций во внешние. Для этого существует несколько инструментов:

– подготовка рабочих зон;

– стандартизация;

– применение специальной оснастки.

Шаг 3. Все операции необходимо оптимизировать. На заключительном шаге внедрения быстрой переналадки нужно рационализировать и оптимизировать внутренние и внешние операции. Обычно для этого повторно анализируют операции и их функционал. Данный шаг является ключевым в минимизации общего времени переналадки. Весь инструментарий, который применяется на данном шаге предназначен отдельно для внутренних и отдельно для внешних операций по переналадке.

Для рационализации внешних операций по переналадке рекомендуется использовать три метода:

Рациональное размещение инструментов. Необходимо определить наиболее оптимальное размещение инструментов в рабочей зоне, удобное и безопасное для рабочего.

Поддержание инструмента в рабочем состоянии. Необходимо обеспечить своевременный ремонт инструментария и по необходимости быструю замену испорченного инструмента на новый.

Оптимизация количества инструментов в рабочей зоне. Необходимо определить количество и вид инструментов которые должны находится именно в этой рабочей зоне и именно в это время.

Для рационализации и оптимизации внутренних операций по переналадке рекомендуется использовать четыре метода:

Использование синхронных операций. Этот метод позволяет распараллелить операции, т.е. позволяет нескольким наладчикам исполнять свои обязанности по настройке и наладке одного станка.

Использование функциональных зажимов. Данный метод позволяет внедрить в работу функциональные крепежные устройства и отказаться от традиционных видов крепления – болтов и гаек. В связи с этим сократиться время поиска подходящих креплений и время установки и съема оборудования и его деталей.

Отказ от тестов. Данный метод призывает отказаться от тестовых запусков и настройки оборудования и позволяет тем самым

сократить до половины время внутренней переналадки. Отказа от предварительных тестов и настройки возможен только при качественной работе по установке и калибровке оборудования, выполненной на предыдущих шагах.

Механизация. Данный метод обычно применяют после успешного использования всех остальных методов. Его нужно использовать не для значительного уменьшения времени переналадки, а для упрощения и оптимизации настройки оборудования.

В настоящее время на предприятиях обычно велико число заказов, которые имеют большую номенклатуру при достаточно низких объемах производства. Поэтому внедрение быстрой переналадки позволит предприятию снизить свои расходы и более эффективно подходить к производству разнообразной продукции даже в малых объемах. Инструменты бережливого производства сейчас уже внедрены на многих промышленных предприятиях Республики Татарстан и России. И связано это с достаточно высокой эффективностью этих методов при относительно низких затратах на внедрение и поддержание.

Список литературы

1. *Ахмадиев Р.Я., Мингалеев Г.Ф., Гарифуллин Р.Ф.* Применение принципов бережливого производства в формализации бизнес-процессов в техническом университете // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 1. С. 148–152.

2. *Гарифуллин Р.Ф.* Стратегии инновационного развития предприятия машиностроения // Вопросы инновационной экономики. 2011. № 6 (6). С. 27–34.

3. *Гарифуллин Р.Ф.* Инструменты бережливого производства для повышения конкурентоспособности промышленных предприятий // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 10 (66). С. 170–173.

4. *Гарифуллин Р.Ф.* Повышение безопасности логистических операций за счет внедрения носимых устройств // Вестник НЦБЖД. 2016. № 4 (30). С. 11–14.

5. *Гарифуллин Р.Ф.* Стратегии, планирование и достижение

цели // Экономика, предпринимательство и право. 2011. № 6. С. 11–17.

6. *Гарифуллин Р.Ф., Антропова Т.Г., Сафиуллин А.Р., Валитов Ш.М.* Проблемы и ограничения внедрения системы организации и рационализации рабочего места на промышленном предприятии // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 4. С. 63–66.

7. *Гарифуллин Р.Ф., Бабушкин В.М., Зилянева О.Е.* Применение методики выездного экспресс-аудита для оценки состояния производственных процессов предприятия // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 3. С. 101–106.

8. *Гарифуллин Р.Ф., Николаенко Ю.В.* Алгоритм технического перевооружения на основе методов планирования инноваций // Вестник экономики, права и социологии. 2012. № 2. С. 22–27.

9. *Гарифуллин Р.Ф., Нугуманова Л.Ф., Антропова Т.Г., Ведин Н.В.* Оптимизация производственных процессов предприятия с использованием принципов и инструментов бережливого производства // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 4. С. 67–70.

10. *Зибрева Е.М., Гарифуллин Р.Ф.* Классификация стратегий инновационного развития промышленного предприятия // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2012. № 1. С. 22–24.

11. *Сафаргалиев М.Ф., Гарифуллин Р.Ф.* Критерии качественной оценки инновационной деятельности промышленных предприятий // В мире научных открытий. 2012. № 10. С. 83–93.

12. *Телишев А.М., Гарифуллин Р.Ф., Зилянева О.Е.* Разработка рекомендаций по совершенствованию информационной среды промышленного предприятия // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 3. С. 74–77.

METHODOLOGY FOR THE INTRODUCTION OF RAPID RECONFIGURATION IN INDUSTRIAL ENTERPRISES

Sibagatullina L.
Supervisor: R. Garifullin
(*Kazan National Research Technical*
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

The tool of lean manufacturing – fast changeover (SMED) is considered. Recommendations on the use of this tool in industrial enterprises are given. Preliminary analysis of the time savings after the introduction of rapid change-over.

УДК 658.51

БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО – ОСНОВА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Стрижко Т.А., Мусина И.Р.
Научный руководитель: А.В. Зверев
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, город Казань)

В данной статье рассматривается бережливое производство как основа экономической безопасности предприятий. В ней так же рассмотрены основы организации предприятий, разобраны основные термины и понятия, которыми оперирует данная тема.

Экономическая безопасность предприятия – это состояние, свойство или характеристика в первую очередь самого предприятия, а не какой либо угрозы его экономической безопасности. Эта характеристика зависит от интенсивности действия внутренних и внешних факторов, а не времени [2]. Поэтому для обеспечения экономически безопасного функционирования предприятие должно располагать соответствующими организационно-техническими и финансовыми условиями и возможностями для прогрессивного технического и социального развития в условиях транзитивной экономики.

Основная задача системы экономической безопасности предприятия – предотвращение ущерба. Следовательно, эффективным может быть признано лишь такое хозяйствование, при котором минимизированы потери (утраты, уроны). Таким образом, вопрос о потерях должен стать, по мнению И. А. Кана (крупного советского экономиста) объектом плановой мысли и плановой практики [3]. Поэтому он настоятельно рекомендовал не пренебрегать богатым опытом, накопленным всемирно известным Комитетом Гувера в США, ставшим инициатором масштабного общественного течения по борьбе с потерями, весьма оригинального по содержанию и выдвигаемым задачам. Если до Гувера под «потерями» подразумевалось обычно недостаточно экономное ис-

пользование в производстве сырья, материалов и т.д., то именно с появлением работ Гувера всё более стало утверждаться понимание их как явлений, связанных с растратой производительных сил в широком смысле, возникающей и при неполной загрузке машин и оборудования, и при отсутствии бережного отношения к сырью, и при недостаточно активно проводимой стандартизации, и при уязвимом управлении производством, слабой постановке контроля, и при встречных перевозках, безработице, болезнях, несчастных случаях и пр.

В ходе производства должны быть реализованы все возможности использования производственных мощностей с тем, чтобы обеспечить выпуск продукции высокого качества в соответствии со спросом потребителей [1]. При этом необходимо учитывать важнейший экономический принцип – возмещение затрат и получение прибыли. Эффектным средством прогнозирования прибыли является использование системы взаимосвязи издержек, объема реализации и прибыли с построением графиков прибыльности для каждого вида продукции. Главная задача состоит в том, чтобы определить точку безубыточности и зону прибыльности производства товара.

В Toyota знали, что не могут соревноваться с другими индустриальными странами по затратам, объему или качеству, используя обычные методы массового производства. Большинство компаний Японии имели ограниченные ресурсы, особенно после опустошительной второй мировой войны. Многие японские компании вынуждены были работать с тем малым капиталом, которым располагали [5]. Эти ограничения создали идеальную среду для внедрения системы «бережливого производства». Мышление, ориентированное на низкотехнологическую систему вытягивания, стало основой производственной системы Toyota. Со временем целью этой системы стало полное исключение потерь. В книге «Бережливое мышление», написанной в 1996 г., Джеймс Вумек и Дэниел Джонс продемонстрировали менеджерам высшего и среднего звена преимущества бережливого подхода.

Устранение потерь в процессах, или muda (муда), основная концепция бережливого производства. Японское слово muda ис-

пользуется чаще, чем английский вариант. Японский язык образнее, за каждым словом стоит целая картина или рассказ. Например, муда – гораздо больше, чем просто «потеря». Оно переводится как «решетом воду носить», «воспользоваться услугой глупца», «бесполезность», «бессмысленность», «тщетные усилия» и «потери денег». Многие компании США продолжают пользоваться понятием муда, поскольку оно дает более полное представление о том, как бессмысленна подобная деятельность [4].

Существуют множество видов потерь. Вот несколько примеров непроизводительных потерь из-за:

• перепроизводства – выпуск товаров в большем количестве, чем это требуется потребителю. Это ставит под вопрос западный принцип оптимального размера заказа, основанного на фиксированных затратах на заказ, фиксированных сроках переналадки, и, соответственно, на необходимости распределения этих фиксированных затрат на большие партии товаров;

• запасов – любые материалы (сырье, нематериальное производство, готовые изделия). Все, что хранится как запас, может скрывать проблемы;

• ожидания – задержки и простои по вине машин или людей. Неэффективное использование времени влечет за собой затраты на заработную плату и все фиксированные накладные расходы и т.п.

Поэтому в нашей работе рекомендуется при формировании экономического инструментария обеспечения создания и функционирования бережливо-безопасного (конкурентоспособного) хозяйственного механизма предприятий учитывать дополнительно пять организационных факторов: структуру, форму организации, условия производства, «узкие места» и окружающую среду [6]. В этом случае производственные отношения в рыночных условиях могут выстраиваться в цепочку: «создание материальных благ»-«их оценка на рынке»-«их распределение», – характеризующуюся тремя показателями: «объем производства товаров», «уровнем цен», «уровнем доходов».

В основу организации производственно-хозяйственной системы следует принять распорядительные центры (РЦ) как категорию, с которой могут быть связаны показатели меры и

структуры, определенным образом выделенных в этих системах. Разделение хозяйственной совокупности на РЦ является необходимым признаком хозяйственной системы. Экономическая связь ресурсов, находящихся в распоряжении данной совокупности РЦ, выступает как достаточный признак её обособления в хозяйственную систему [7].

Любой РЦ руководствуется в своей деятельности разными хозяйственными интересами в силу объективного различия имеющихся у него ресурсов, многовариантного характера их использования и характера хозяйственной заинтересованности распорядителя РЦ. Хозяйственная заинтересованность определяется тремя факторами: наличием материального стимула; профессиональной квалификацией; социальным самосознанием личности или группы, реализующей функцию распоряжения в данном РЦ.

Существующие в организации объективные экономические связи между ресурсами разных РЦ в зависимости от характера влияния на факторы заинтересованности по-разному отражаются в системе хозяйственных интересов. Хозяйственный интерес является производной от хозяйственной ситуации, в которой в конкретный момент времени находится определенный РЦ, и представляет собой сочетание состояний остальных РЦ системы и состояние среды системы.

При создании оптимальной технико-технологической системы на предприятии требуется сформировать систему взаимодействия рабочих мест как внутри отдельного РЦ, так и со смежными РЦ данной производственно-хозяйственной системы, а также разработать организационную структуру управления производственным процессом. Любая из функций производственного процесса реализуется на базе взаимодействия людей со средствами производства и предметами труда. Для согласования целей реализации отдельных функций между собой и с целями более высокого иерархического уровня, а последних между собой выделяется аппарат управления. Основной задачей аппарата управления является синхронизация бережливо-безопасного коллективного труда. Отсюда следует, что на любом

уровне описания следует учитывать такие неотъемлемые компоненты хозяйственных организаций как люди, техника, информация, материальные ресурсы, в том числе природные. Все эти компоненты входят в состав системы не просто как неизменные элементы, но как потоки, каждый из которых обладает своеобразием и требует системной гармонизации, целенаправленной на обеспечение экономической безопасности предприятия.

Список литературы

1. *Бабаушкин В.М., Мингалеев Гф., Силенов М.А., Костерин А.В., Карпов В.В., Зверев А.В.* Способ монтажа оконных и дверных блоков в домах из бревен и бруса // Патент РФ на изобретение № 2589536. Опубликовано 10.07.2016. Бюл. № 19

2. *Гарифуллин Р.Ф.* Инструменты бережливого производства для повышения конкурентоспособности промышленных предприятий // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 10 [Электронный ресурс]. URL: http://web.snauka.ru/issues/2016/10/71946 (дата обращения: 10.10.2016).

3. *Зверев А.В.* Организация работы в полипрофессиональных проектных группах // Международная молодежная научная конференция «XXII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (школа молодых ученых)» Материалы конференции. Министерство образования и науки Российской Федерации, Российский фонд фундаментальных исследований, Казанский национальный исследовательский технический университет им. АН. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ). 2015. С. 325-329.

4. *Костерин А.В., Тагиев К.Ф., Зверев А.В.* Разработка проектов по организации бережливого производства в полипрофессиональных проектных группах // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. Т. 71. С. 168-172.

5. *Надреева Л.Л., Моисеев Р.Е., Зверев А.В.* Роль активных методов обучения в формировании Lean-мышления // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. С. 557.

6. *Сафаргалиев М.Ф.* Бережливое производство на машиностроительном предприятии. Российское предпринимательство. 2012. № 18. С. 90-95.

7. *Ураев Н.Н., Махтеева Е.А., Сафараглиев М.Ф.* О государственном регулировании формирования и развития пространственно-распределенных бережливых производств // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2016. – № 1. – С. 53-59.

LEAN PRODUCTION – BASIS OF ECONOMIC CONFLICT OF PREJUDICE

Strizhko T., Mysina I.
Supervisor: A. Zverev
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan*)

This article describes lean manufacturing as a basis of economic security of enterprises. It also covers the basics of business organisation dismantled the basic terms and concepts, which operates the topic.

УДК 331

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ СТИМУЛИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ В РОССИИ

Шамсиева Л.А.
Научный руководитель А.В. Махиянова,
докт. соц. наук, доцент
(Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань)

В статье анализируются методы стимулирования персонала на современном предприятии. Проанализированы основные методы нематериального стимулирования сотрудников в России и потенциальные будущие методы, которые могли бы стать эффективными. В ходе проведённого исследования потребностей работников выявлена важность развития системы нематериального стимулирования.

Стимулирование сотрудников занимает одно из центральных мест в деятельности фирмы. Ориентация работников на достижение целей организации по существу является главной задачей руководства персоналом. Сегодня для эффективной деятельности организации требуются ответственные и инициативные работники, высокоорганизованные и стремящиеся к трудовой самореализации личности. Обеспечить эти качества невозможно с помощью традиционных форм материального стимулирования и строгого внешнего контроля, зарплаты и наказаний.

Стимулирование персонала в значительной степени определяет, как непосредственно успех организации, так и развитие экономики, уровень благосостояния людей, что предопределяет актуальность и важность изучаемой проблемы.

Процесс использования различных стимулов для мотивирования людей называется стимулированием. Стимулирование играет на предприятии важную роль действенных мотиваторов или основных носителей интересов работников. Важно отметить, что стимулирование существенно отличается от мотивирования персонала предприятия. А отличается оно тем, что стимулирование – это один

из инструментов, с помощью которого осуществляется мотивирование персонала. Известно, что стимулирование бывают двух видов: нематериальные и материальные[6]. Рассмотрим в данной статье нематериальные стимулы.

Нематериальные стимулы могут быть самыми разными и их можно распределить на три группы: социальные, моральные, социально-психологические. Применение их в совокупности дает возможность добиться высокой эффективности.

Социальные стимулы связаны с потребностью работников в самоутверждении, с их стремлением занимать определенное положение в обществе и с потребностями в определенном объеме власти. Такие стимулы предоставляют возможность участвовать в управлении производством, трудом и коллективом, принимать решения; дальнейшего продвижения по служебной лестнице, возможностью заниматься престижными видами труда. В совокупности данные стимулы означают, что работникам предоставляется право голоса при решении ряда проблем, им делегируются права и ответственность. Таким образом, стимулирование недежными стимулами также воздействует на эффективность работы предприятия, так как каждый работник имеет возможность принять участие в управлении и от его мнения, совета или решения зависит будущее предприятия.

Моральные стимулы к труду связаны с потребностями человека в коллективном уважении, в признании его как работника, как нравственно одобряемой личности. Признание бывает двух видов: личным или публичным [1].

Личное признание предполагает, что особо отличившиеся работники будут отмечены в специальных докладах высшему руководству организации. Им гарантируется право подписи в документах, в разработку которых они внесли большой вклад или приняли участие. Также во время праздников таких работников персонально поздравляет администрация предприятия.

Публичное признание проявляется в широком распространении информации о достижениях сотрудников в многотиражных газетах, выпускаемых предприятиями, в определенных местах («Досках почета»), в награждении особо отличившихся людей спе-

циальными знаками, грамотами, сувенирами. Нередко публичное признание сопровождается премиями, ценными подарками и т.д. [1].

Социально-психологические стимулы тесно связаны с общением, которое, в свою очередь, играет одну из важных ролей в психологии и в жизни человека. Поэтому общение является коренной потребностью и условием нормальной жизнедеятельности человека. В связи с этим, комфортный климат в коллективе, обеспечивающий нормальное общение, помогает человеку самореализоваться и является хорошим стимулом к ощущению удовлетворенности работника в труде [2].

Интернет-журнал HR-Journal проводил анализ основных нематериальных потребностей среднестатистического российского работника. В анализе были выделены основные нематериальные потребности – здоровье, время, комфорт. Здоровье сотрудника, по мнению издания, должно интересовать по причине того, что нездоровый сотрудник может распространить заразу в офисе, многократно снижая эффективность работы. А когда сотрудник слишком много времени уделяет предприятию, он устает, и тем самым снижается его стрессоустойчивость и, в конечном итоге, возможность возникновения конфликтов на рабочем месте увеличивается [7].

Из психологии известно, что человек может устать от скучной, неинтересной ему работы гораздо раньше, чем за 8 часов его рабочего дня, и наоборот, занимать работой свободное время с удовлетворением, если она соответствует его личным целям. Решением этой проблемы может являться не только сокращение времени работы, но и улучшение психологических стимулов, например, совершенствование корпоративной культуры. Наконец, под термином «комфорт» в исследовании понимается неограниченное общение с семьей в том количестве, которое требуется человеку. В другом случае, то есть при отсутствии комфорта, возникает риск возникновения проблем в семье, которые так же пагубно отражаются на эффективности труда [5].

В соответствии с описанными потребностями был выбран ряд самых широко применяемых в России мероприятий. Данные мероприятия могут частично рассматриваться как материальные,

ведь в некотором смысле они экономят деньги сотрудников на медицину, страхование и т.д. Мероприятия не способствуют желанию работника концентрировать внимание исключительно на доходах, но создают чувство нужности компании, сопричастности с ней. Поэтому в данном случае перечисленные мероприятия будут рассмотрены как методы нематериального стимулирования морального характера [3].

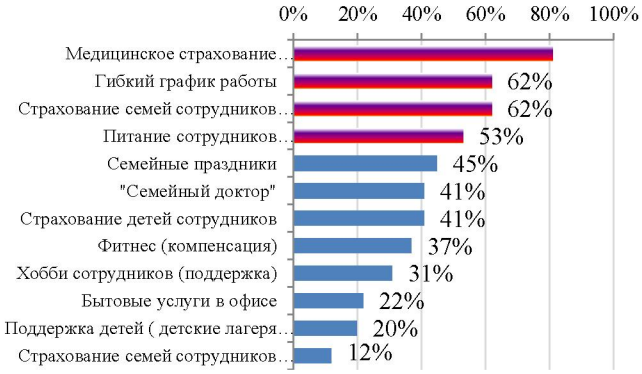


Рис. 2. Наиболее популярные мероприятия нематериального стимулирования в России, 2015 [7].

Издательство журнала признает проблему нематериального стимулирования особо важной и называет ее «нестандартной мотивацией персонала». Вопреки важности данной темы, лишь 19 % опрошенных компаний систематически проводят мероприятия, которые направлены на поддержку своих сотрудников и членов их семей. А 43 % компаний делают это эпизодически, и еще 38 % сейчас планируют внедрение подобных инициатив». Следовательно, проанализировав перечисленные данные, можно сделать вывод о потенциале использования нематериальных вознаграждений [7].

Приведенный в данной статье материал показывает, что работодатели переоценивают стремление работников к саморазвитию, дополнительному обучению, интересным задачам; удобное расположение волнует работников куда больше [5].

Стоит добавить, если организация поставила перед собой за-

дачу повышения эффективности работы персонала, то непосредственный руководитель может оказать влияние на значительную часть каждой группы факторов. Если руководитель правильно организует работу всех сотрудников в своей организации, разработает хорошую, качественную систему стимулирования, то это, несомненно, приведёт его работников к повышению эффективности своей деятельности. Но вспомним слова руководителя корпорации General Electric Джека Велча: «Если человек хорошо делает свою работу, его надо любить, если плохо — ругать, но делать это надо часто», то есть применять метод «кнута и пряника» так как не стоит руководствоваться только поощрениями, при разработке собственной системы стимулирования.

Таким образом, постепенное разделение ответственности работников, дробление общих целей на задачи разной сложности, распределение их между конкретными людьми и справедливая оценка их усилий могли бы реабилитировать желание россиян к плодотворному труду, а не бесцельной трате времени на рабочем месте. Остается лишь вопрос, как скоро менеджеры проявят желание применить эти несложные стимулы для повышения эффективности своего персонала.

Список литературы

1. *Абрамова С.В.* Мотивация и стимулирование труда персонала // Проблемы современной экономики. – 2012. – С. 149–153.

2. *Махиянова А.В.* Методика составления социального портрета населения / А.В. Махиянова // Электронный экономический вестник Татарстана. – 2015. – № 1. – С. 77–81.

3. *Назарова Е.В.* Особенности и перспективы методов современного стимулирования персонала в России // Экономика и менеджмент. – 2016. № 6 [Электронный ресурс] (дата обращения: 01.12.2016)

4. *Слуцкая Е.М., Егорова Е.Н.* Классификация инструментов материального стимулирования работников предприятия // Экономика труда – 2017. – С. 3–11.

5. *Устинова К.А.* Влияние мотивации на сотрудников пред-

приятия. // Молодой ученый. – 2014. – С. 381–383.

6. *Шапиро С.А.* Мотивация и стимулирование персонала // ГроссМедиа. – 2005. – С. 195–201.

7. URL: http://www.hr-journal.ru/articles/mp/mp_960.html (дата обращения: 20.05.2016)

PECULIARITIES OF STAFF MOTIVATION METHODS OF THE ENTERPRISES IN RUSSIA

Shamsieva L.
Supervisor: A. Mahiyanova,
Doctor of Sociology, Associate Professor
(Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan)

The article analyzes the methods of motivation of the staff at the modern enterprises. The main methods of non-material motivation of employees in Russia and potential methods that could become effective in the future have been observed. In the course of the study of the needs of the employees, the importance of developing non-material, moral incentives was revealed.

СЕКЦИЯ 3

ТЕПЛОТЕХНИКА, ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

ПОДСЕКЦИЯ 3.1

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ И ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

УДК 662.61

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ В ТОПКЕ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА ПРИ ПРОДУВКЕ ХОЛОДНЫМ ВОЗДУХОМ

Ахметшина А.И.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Данная статья посвящена экспериментальному исследованию поля скоростей в топочном пространстве при продувке холодным воздухом. Цель исследований – определение граничных условий и получение общей картины распределения скоростей воздушного потока в топке. Исследование поля скоростей проведено термоанемометрическим методом. Установлено, что линейная скорость воздушного потока вдоль продольной оси топки не превышает 0,6 м/с, что составляет менее 5% скорости потока в периферийной части топки. Поле скоростей по сечению топки достаточно равномерное. На основе этого можно предположить, что такое распределение скорости воздушного потока по сечению топки способствует интенсификации процессов горения.

Тенденция развития теплоэнергетики такова, что мощными темпами идет рост малой и средней энергетики. О росте количества малых и средних котельных и об увеличении их доли в общем объеме выработки тепла в ближайшей перспективе отчетливо свидетельствуют данные, приведенные на рис. 1.

Динамику роста количества котельных небольших мощностей можно объяснить с неоправданно высокими затратами на генерацию тепла теплоэлектроцентралями или крупными котельными. К основным недостаткам таких объектов следует отнести низкий к.п.д. и огромные потери тепловой энергии при доставке его к потребителю.

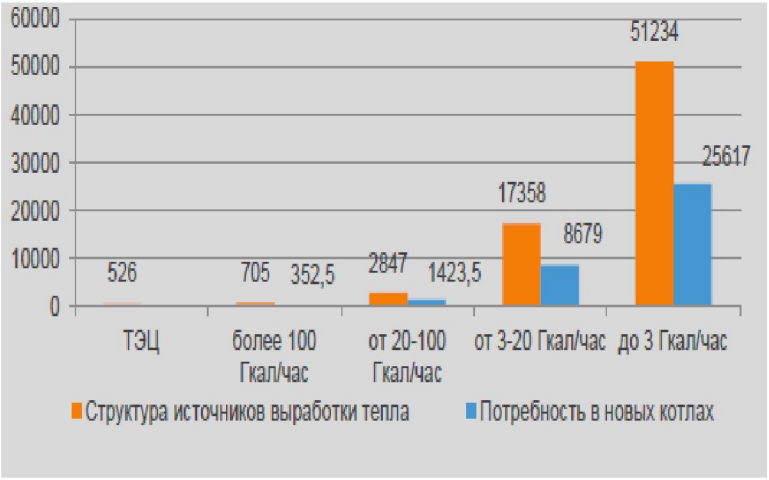


Рис. 1. Диаграмма зависимости общего объема выработанного тепла от вида теплогенерирующего объекта

Большая часть современных котельных малой мощности функционируют на жидком или газообразном топливах. Наряду с этим высоким спросом пользуются твердотопливные котельные. Такие тепловые установки весьма выгодно эксплуатировать в регионах богатых твердым топливом (уголь, древесина, торф). В качестве твердого топлива могут быть использованы также твердые горючие вещества, являющиеся производственными или иными отходами. К их числу можно отнести старые железнодорожные шпалы, деревянную упаковку продукции или сырья, отходы деревообрабатывающих заводов, прессованные твердые отходы и т д. Эти вещества от стандартных топлив отличаются большим разбросом химического и морфологического состава, который существенно влияет на внутритопочные процессы. Для эффективного их сжигания необходимы специальные топки. Несмотря на множество серийно выпускаемых твердотопливных котельных, на рынке РФ нет топок, в которых можно было бы эффективно сжечь альтернативные виды твердых топлив. В данной работе предложена перспективная схема топки, в которой применен комбинированный вид сжигания твердого горючего вещества - слоевое и вихревое.

Подробное описание конструкции топки и принципа ее работы приведено в работе [1].

В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований поля скоростей в топочном пространстве при продувке холодным воздухом. Эти исследования необходимы для общего понимания газодинамической картины в топке и получения граничных условий для теоретических расчетов. Исследование поля скоростей проведено термоанемометрическим методом. В качестве измерительного прибора использован термоанемометр ИРВИС- ТАБ.2, который позволяет измерять мгновенные локальные значения скорости неагрессивных горючих и инертных газов. Диапазон измерения средней скорости потока от 0 до 100 м/с, значения абсолютного давления измеряемой среды от 83,7 до 1600 кПа.

Система измерения скорости потока газов состоит из: 1- персонального компьютера с программным обеспечением для считывания и преобразования полученного сигнала, 2- осциллографа, 3- термоанемометра ИРВИС - ТАБ.2, 4 – зонда, 5 – однониточного термоанемометрического датчика, 6 топки.

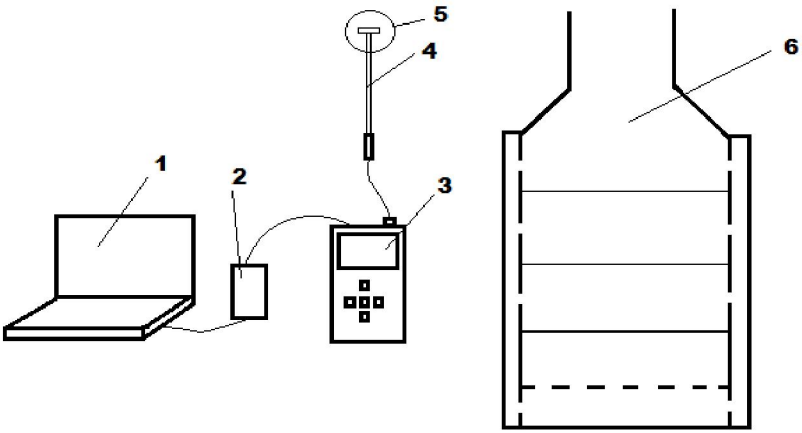


Рис. 2. Система измерения скорости потока газов в топке

Метод основан на зависимости теплоотдачи чувствительного элемента от скорости течения среды.

Результаты экспериментов и их анализ. Общий объем воздуха, подведенного в топочное пространство, составил 245 м^3/ч. Согласно конструктивной схемы топки, воздушный тракт разделен на четыре магистрали: по одной из них воздух подается под колосник, по оставшимся трем магистралям воздух подводится в над колосниковое пространство топки в виде воздушных струй, истекающих перпендикулярно продольной оси топки. Под колосниковое пространство подводится до (35-40) % от общего объема воздуха, остальная часть равномерно распределяется по другим каналам. В топочное пространство воздух подается в виде воздушных струй по трем «поясам». Направление истечения воздушных струй в каждом поясе строго задано. При их определении авторы исходили из условий максимальной турбулизации воздушного потока внутри топки.

В результате опытов получено, что линейная скорость воздушного потока вдоль продольной оси топки не превышает 0,6 м/с. Весьма интересное распределение скоростей наблюдается в зоне истечения воздушных струй. Для примера, на рисунке 3 приведены измеренные величины скоростей на оси воздушной струи и в прилегающей зоне. Цифрами обозначены места установки термоанемометрического датчика.

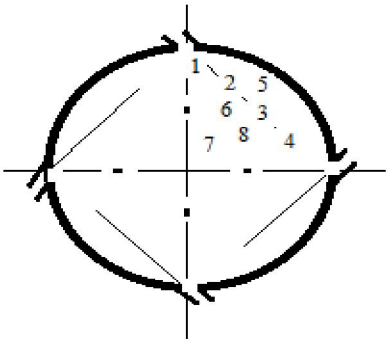


Рис. 3. Схема истечения воздушных струй
1-13м/с; 2 -8 м/с; 3 – 5 м/с; 4-3 м/с; 5- 2 м/с; 6 – 4 м/с; 7- 3 м/с; 8- 6 м/с.

Из анализа измеренных значений скорости видно, что воздушная струя, истекающая из сопла, ось которого направлена по хорде сильно искривляется. Из работы [2] известно, что оптимальный угол наклона оси струи к касательной соответствует диапазону 22^0 - 25^0. Следует отметить, что эти результаты получены для вихревых камер малых диаметров. В исследуемой топке участок искривления струи расположен между точками 2 и 3. В точке 3 скорость струи равна 5 м/с, а в точке 8 – 6 м/с. В центральной части топки скорость струи варьируется в диапазоне от 3м/с до 4 м/с. Измеренные значения показывают, что поле скоростей в исследуемом сечении достаточно равномерное. Это дает основание полагать, что в реагирующей газовой смеси такое распределение скорости воздушного потока по сечению топки будет способствовать интенсификации процессов горения.

Список литературы

1. Павлов Г.И., Кочергин А.В., Ахметшина А.И., Сиразиева Р.Р. Экология и промышленность России, Т 20, № 10, 2016, стр.11-15.

2. А.С. № 964360 от 07.10.1982 г.

EXPERIMENTAL STUDY OF VELOCITY FIELDS IN THE FURNACE, COMBINED TYPE WHEN BLOWING COLD AIR

Akhmetshina A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

This article is devoted to experimental study of velocity fields in the combustion space by blowing cold air. A purpose of researches is definition of boundary conditions and obtaining the overall picture of the distribution of air flow velocity in the furnace. The study of velocity fields carried out hot-wire method. It is established that the linear velocity of the air flow along the longitudinal axis of the furnace does not exceed 0.6 m/s, which is less than 5% of the flow velocity in the peripheral part of the furnace. The velocity field in the cross section of the furnace quite evenly. Based on this we can assume that this

distribution of air velocity over the cross section of the furnace contributes to the intensification of combustion processes.

УДК 532.511

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВСКИПАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

Ахунов А.А.
Научный руководитель: А.Л. Тукмаков, д.ф.-м.н., с.н.с.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Работа посвящена математическому моделированию и численному расчету течения жидкости в канале парогенератора. Выполнены расчеты, описывающие процесс установления полей скорости, плотности и давления для заполняющего сопло жидкого метана с заданной начальной температурой.

Природный газ в большом количестве содержит метан, который является сырьем для химической промышленности и широко применяется в энергетических установках в качестве топлива. В настоящее время, наряду с технологиями сжижения природного газа, разрабатывается технологии его регазификации [1]. Превращение сжиженного природного газа в газ пригодный для поставки потребителю происходит в системе испарения с помощью нагрева, который может осуществляться как на промышленных терминалах, так и в системах газификации малых транспортных установок [2]. Особенность последних заключается в том, что процесс испарения в них может происходить за счет внутренней энергии. Такой процесс может быть реализован при адиабатном расширении жидкости в дроссельном устройстве, вследствие падения давления ниже давления насыщения.

Математическая модель течения вскипающей жидкости с фазовыми переходами, описана на основе уравнений Навье-Стокса для сжимаемой жидкости [3]. Система уравнений включает в себя уравнение неразрывности, уравнения сохранения составляющих импульса и уравнение сохранения полной энергии несущей фазы. Система уравнения [3] записывалась в обобщенной криволинейной системе координат. Для записи, было введено отображения физи-

ческого пространства (x,y,t) к пространству в обобщённых координатах (ξ,η,τ). Производные по пространственным координатам выражались как производные сложных функций

$$\frac{\partial}{\partial x}=\xi_x\frac{\partial}{\partial \xi}+\eta_x\frac{\partial}{\partial \eta},\quad \frac{\partial}{\partial y}=\xi_y\frac{\partial}{\partial \xi}+\eta_y\frac{\partial}{\partial \eta},$$

правые части были поделены на якобиан перехода от системы координат (x,y,t) к системе (ξ,η,τ)

$$J=\xi_x\eta_y-\xi_y\eta_x=\frac{1}{x_\xi y_\eta-x_\eta y_\xi}.$$

Отображение физического пространства на пространство обобщённых координат позволяет произвести сгущение координатных линий в физическом пространстве в областях, где можно ожидать появления больших градиентов [4].

В матричной форме система имеет вид [5]:

$$\frac{\partial \hat{\mathbf{q}}}{\partial t}+\frac{\partial \hat{\mathbf{E}}}{\partial \xi}+\frac{\partial \hat{\mathbf{F}}}{\partial \eta}=\hat{\mathbf{H}}, \qquad (1)$$

$$\hat{\mathbf{q}}=\frac{\mathbf{q}}{J},\quad \hat{\mathbf{E}}=\frac{\xi_t\mathbf{q}+\xi_x\mathbf{E}+\xi_y\mathbf{F}}{J},\quad \hat{\mathbf{F}}=\frac{\eta_t\mathbf{q}+\eta_x\mathbf{E}+\eta_y\mathbf{F}}{J},\quad \hat{\mathbf{H}}=\frac{\mathbf{H}}{J},$$

$$\mathbf{q}=\begin{bmatrix}\rho\\ \rho u\\ \rho v\\ e\end{bmatrix},\quad \mathbf{E}=\begin{bmatrix}\rho u\\ p+\rho u^2-\tau_{xx}\\ \rho uv-\tau_{xy}\\ u(e+p)-u\tau_{xx}-v\tau_{xy}-\lambda\dfrac{\partial T}{\partial x}\end{bmatrix},\quad \mathbf{F}=\begin{bmatrix}\rho v\\ \rho uv-\tau_{yx}\\ p+\rho v^2-\tau_{yy}\\ v(p+e)-u\tau_{xy}-v\tau_{yy}-\lambda\dfrac{\partial T}{\partial y}\end{bmatrix},$$

$$\mathbf{H}=\begin{bmatrix}-j\\ \alpha\dfrac{\partial p}{\partial x}-uj\\ \alpha\dfrac{\partial p}{\partial y}-vj\\ -U_{Lv}-HW_{CL}+\alpha\left(\dfrac{\partial(p\,u)}{\partial x}+\dfrac{\partial(pv)}{\partial y}\right)\end{bmatrix}$$

$$\tau_{xx}=\frac{1}{Re}\left(2\frac{\partial u}{\partial x}-\frac{2}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right)\right),\tau_{yy}=\frac{1}{Re}\left(2\frac{\partial v}{\partial y}-\frac{2}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right)\right),\tau_{xy}=\frac{1}{Re}\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right).$$

$\mathrm{Re} = \frac{\rho_0 c L}{\mu}$, *Re* число Рейнольдса, используемое при масштабировании. Метрические коэффициенты ξ_t, ξ_x, ξ_y, η_t, η_x, η_y определяются через производные x_t, x_ξ, x_η, y_t, y_ξ, y_η следующим образом [4]: $\xi_x = Jy_\eta$, $\xi_y = -Jx_\eta$, $\eta_x = -Jy_\xi$, $\eta_y = Jx_\xi$, $\xi_t = -x_t \xi_x - y_t \xi_y$, $\eta_t = -x_t \eta_x - y_t \eta_y$.

Система уравнений (1) решалась неявным конечно-разностным методом Стегера-Уорминга [5]. На каждом временном шаге основного эйлерова алгоритма расчетов динамики несущей среды решались уравнения лагранжева этапа, описывающие динамику дисперсной фазы: уравнение Рэлея-Ламба для радиуса парового пузырька, уравнения для плотности и температуры пара в температурно-однородном пузырьке [6,7].

На основе описанной модели выполнены расчеты, описывающие процесс установления полей скорости, плотности и давления для заполняющего сопло жидкого метана с заданной начальной температурой 172K.

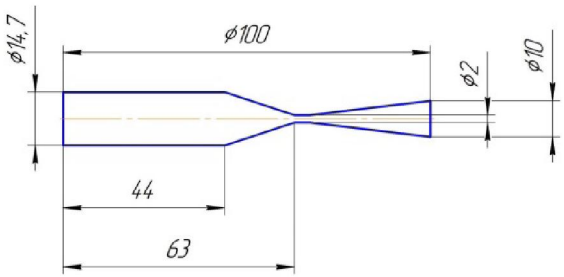


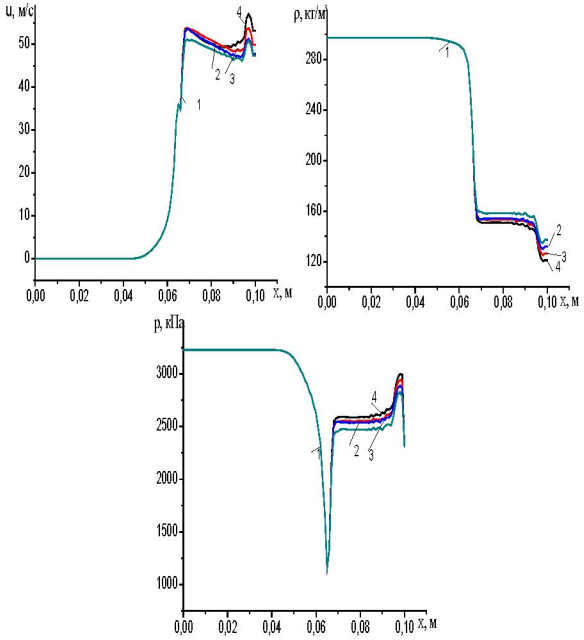
Рис. 1. Размеры канала парогенератора

В качестве граничных условий для моделирования течения вскипающего метана в канале парогенератора задавались: давление жидкости на входе в канал $p_{вх}$, давление в выходном сечении сопла $p_{вых}$. Для остальных функций: плотности, составляющих скорости, температуры, энергии задавались однородные граничные условия 2 рода: $\frac{\partial U}{\partial n} = 0$, где n – направление нормали к границе.

В начальный момент времени при t=0 сопло заполнено однофазной жидкостью, давление которой равно давлению во входном

сечении. Задается давление на выходе сопла и при t>0 начинается процесс установления двухфазного течения в расширяющейся части канала.

На рис. 2 представлены результаты расчетов описывающие процесс установления полей скорости, плотности и давления для заполняющего сопло жидкого метана с заданной начальной температурой 172К и заданном перепаде давления в 2,75 атм. Формирование потока в расширяющейся части сопла происходит при взаимодействии двух процессов. При давлении на выходе сопла меньшем давления насыщения, на срезе формируется волна разряжения, которая распространяется в горлу сопла.



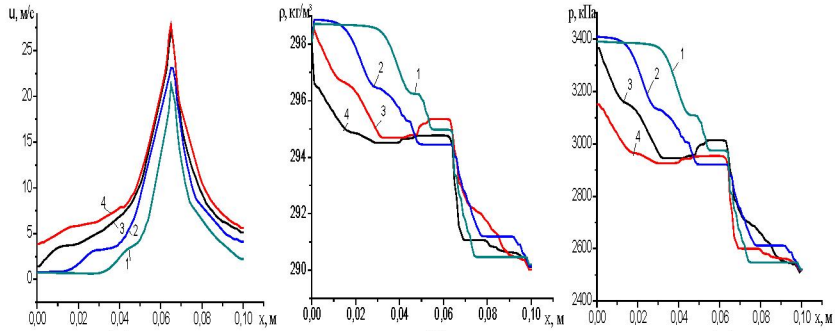
(а) (б) (в)

Рис. 2. Волны разряжения: а) скорости, б) плотности, в) волна давления вдоль оси сопла в моменты времени: 1 – t=6.251720*10^{-5} сек.; 2 – t=7.225623*10^{-5} сек.; 3 – t=8.079213*10^{-5} сек.; 4 – t=8.635467*10^{-5} сек.

Распределение давления в различные моменты времени пока-

заны на рис. 2 (а). На фронте волны разряжения (сама волна распространяется влево) возникает движение жидкости, направленное к срезу сопла. В результате фазовых переходов плотность среды рис. 2 (б) уменьшается. Вследствие этого увеличивается скорость течения рис. 2 (в). Одновременно с этим процессом, в окрестности минимального сечения сопла растет скорость потока.

На рис. 3 представлены результаты расчетов течения жидкого метана без фазовых переходов. В рассматриваемом режиме, течение всего процесса давление остается выше давления насыщения. Наибольшее значение скорости достигается в минимальном сечении сопла.



(а) (б) (в)

Рис. 3. Волны разряжения: а) скорости, б) плотности, в) волна давления вдоль оси сопла в моменты времени: 1 – t=9.378060*10^{-5} сек.; 2 – t=1.188015*10^{-4} сек.; 3 – t=1.445477*10^{-4} сек.; 4 – t=1.713024*10^{-4} сек.

Построенная модель позволяет выполнить расчёты режимов течения сопла заданной геометрии при различных начальных условиях, перепадах давления и температурах с целью оптимизации работы парогенератора, используемого в регазификаторах сжиженного природного газа.

Список литературы

1. Арсланова С.Н., Баянов Р.И., Тукмаков А.Л., Тонконог В.Г. Течение парокапельной смеси метана в канале переменного сечения. Инженерно-физический журнал. Том 90, №2, С.299.

2. Тонконог В.Г., Арсланова С.Н. Система подачи криогенного топлива в энергетическую установку .Патент РФ на изобретение Ru, № 2347934. Дата выдачи 10.06.2009.

3. Тукмаков А.Л., Ахунов А.А., Чибирев П.А. Моделирование процесса установления двухфазного течения в сопле парогенератора // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: материалы докладов международной науч.-технич. конф. (22-24 июня 2016) г. – Самара: Самарский университет, 2016 г. ¬ В 2 Ч. Ч. 1. С. 192-193.

4. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Том 2. Методы расчета различных течений М.: Мир, 1991. - 552 с.

5. Steger J. L.// AIAA Journal. 1978. Vol. 16, No 7. P. 679–686.

6. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. М.: Наука, 1987.Т.2. 359 с.

7. Кумзерова Е.Ю., Шмидт А.А.Численное моделирование нуклеации и динамики пузырьков при быстром падении давления жидкости// Журнал технической физики. 2002. Т.72. Вып.7. С.36-40

NUMERICAL MODELING CURRENT EFFERVESCENT LIQUID

Ahunov A.

Supervisor: A. Tukmakov, Dr. Sc. (Phys.-Math.), senior researcher

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The work is devoted to mathematical modeling and numerical calculation of fluid flow in the steam generator channel. Calculations are performed that describe the process of establishing the velocity, density, and pressure fields for a liquid methane filling nozzle with a given initial temperature.

УДК 621.175

АНАЛИЗ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ НА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКЕ

***Бадриев А.И.*[1,2], *Власов С.М.*[2]**
Научный руководитель: В.Н. Шарифуллин, д.т.н., профессор
(1-Набережночелнинский институт КФУ, г. Набережные Челны, 2-Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

Получены характеристики эффективности башенной градирни на основе неравномерности распределения орошения воды. Результаты апробированы на лабораторной установке. Выдвинута задача оптимизации распределения орошения и повышения эффективности аппарата.

Возникновение неравномерностей распределения потоков в таких аппаратах как башенные градирни снижают её испарительную мощность и в конечном счёте эффективность станции [1]. В работе рассматривается анализ оценки испарительной мощности аппарата с помощью рабочей характеристики башенной градирни на основе неравномерностей распределения фаз и их экспериментальная проверка на лабораторной установке.

С целью анализа неравномерности орошения воды, на башенной градирне проведены эксперименты измерения и распределения плотности орошения по сечению аппарата. Одновременно учитывались и температуры воды. Экспериментальные данные о распределении плотности орошения, полученные при трех параллельных опытах показали значительную неравномерность [2]. Основываясь на результатах, построена рабочая характеристика. При постоянном расходе воды в 8840 т/ч, плотность орошения в разных точках секции изменялась в пределах от 2,7 м/ч до 4,3 м/ч. Рабочая характеристика представлена в виде регрессионной модели перепада температуры ΔT от плотности орошения воды q (рис. 1).

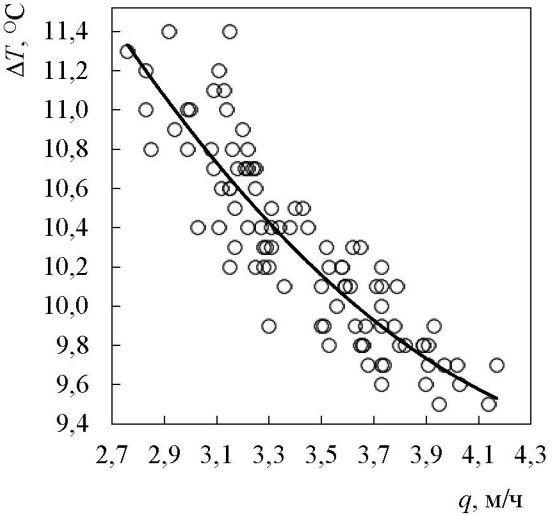


Рис. 1. Рабочая характеристика башенной градирни

Полученная зависимость (рис. 1) при неравномерности распределения орошения отражает степень охлаждения воды в башенной градирне. Вместе с тем, важно знать, как влияет полученная неравномерность распределения плотности орошения на испарительную мощность. На основе полученных данных перепада температур ΔT и плотности орошения q, получены значения охладительной мощности R башенной градирни. Так, построена регрессионная модель зависимости охладительной мощности от плотности орошения (рис. 2).

Зависимость отражает испарительную мощность при изменении плотности орошения q.

Учитывая внешние воздействия, оказывающие влияние на протекание процесса в башенной градирне, для проверки адекватности результата, проведён аналогичный эксперимент. На лабораторной установке выполнены измерения плотности орошения и перепада температур воды. Регулируя циркуляционный поток воды в контуре системы установки, выбирались скорости насоса и соответствующие им расходы воды, изменяющийся в пределах от 0,99

до 1,26 м^3/ч. По рассчитанным плотностям орошения и зафиксированным перепадам температур воды, построена рабочая характеристика лабораторной установки градирни УВО – 0,3 (рис. 3).

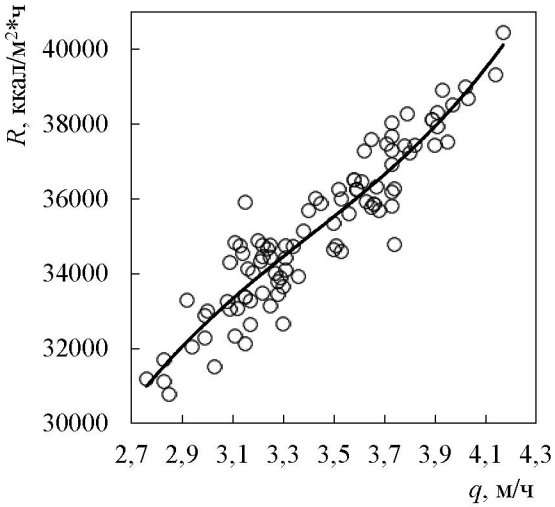


Рис. 2. Охладительная мощность башенной градирни

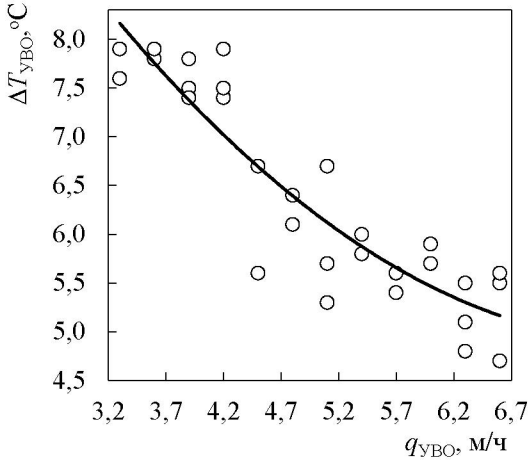


Рис. 3. Рабочая характеристика лабораторной установки

Зная значения перепада температур $\Delta T_{УВО}$ и плотности орошения $q_{УВО}$ получены значения охладительной мощности $R_{УВО}$ лабораторной установки. Построена зависимость охладительной мощности $R_{УВО}$ от плотности орошения $q_{УВО}$ (рис. 4).

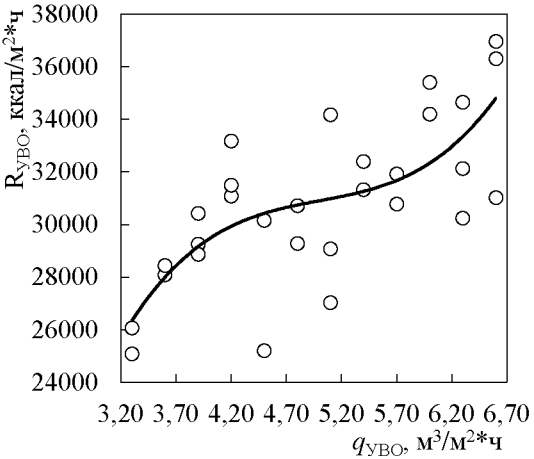


Рис. 4. Охладительная мощность лабораторной установки

На лабораторной установке получено подтверждение зависимостей, выявленных натурным экспериментом на башенной градирне. Сравнивая характер зависимостей лабораторной установки и зависимостей, полученных на башенной градирне можно говорить о репрезентативности данных и отнести их к доверительным. Результаты позволили дать оценку эффективности аппарата при неравномерности, а также сформулировать задачу оптимизации распределения орошения и повышения её испарительной мощности.

Список литературы

1. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды. М. – Л.: Госэнергоиздат. 1949. 440 с.

2. Шарифуллин В.Н., Бадриев А.И., Шарифуллин А.В. Вли-

яние неравномерности орошения на интенсивность процесса в испарительной градирне // Промышленная энергетика. 2014. № 6.

ANALYSIS OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF NATURAL DRAFT COOLING TOWER ON A LABORATORY INSTALLATION

***Badriev A.*[1,2]*, Vlasov S.*[2]**
Supervisor: V. Sharifullin, doctor of technical science, professor
(1-Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny Institute, Naberezhnye Chelny,
2-Kazan state power engineering university, Kazan)

The operational characteristics of the cooling tower based on the uneven distribution of water distribution are obtained. Approbation of the results was carried out using a laboratory installation. The problem of optimizing the water distribution and improving the efficiency of the apparatus is formulated.

УДК 62-713.3

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОРШНЕВОГО АВИАДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ЕГО 1D МОДЕЛИ

Хисматуллин Р.М., Березин В.В.
Научный руководитель: Р.Р. Салахов, к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной работе представлен обзор стандартной системы охлаждения авиационного поршневого двигателя. Моделирование его в программе LMS AMESim. Обзор модификации системы охлаждения.

В настоящее время в боевой и большой коммерческой авиации поршневые двигатели уступили реактивным, однако остаются актуальными в областях, где скорость не является решающим фактором. Развитие малой авиации дало второе рождение поршневым авиадвигателям. Одно из перспективных направлений – беспилотные летательные аппараты, так же вполне может использовать поршневые двигатели. Основные преимущества авиационных поршневых двигателей гад газотурбинными двигателями – низкая стоимость и экономичный расход топлива.

В июне 2016 года Министерство обороны России заказало 150 самолетов Як-152, предназначенных для первичного обучения будущих военных летчиков. На самолетах установлены немецкие дизельные двигатели RED A03 V12 мощностью 500 лошадиных. Известно, что ранее в 2011 году RED A03 V12 успешно завершили летные испытания на самолете Як-52.

В наиболее распространенных поршневых авиадвигателях используется воздушное охлаждение, однако в последнее время появились разработки современных высокоэффективных дизельных двигателей с жидкостной системой охлаждения. От эффективности подобной системы охлаждения напрямую зависит эффективность рабочих процессов в цилиндре. Кроме того, для исключения опасных температурных напряжений в цилиндро-поршневой груп-

пе необходимо обеспечить оптимальную работу системы охлаждения.

Система охлаждения двигателя внутреннего сгорания – совокупность устройств, обеспечивающих подвод охлаждающей среды к нагретым деталям двигателя и отвод от них в атмосферу лишней теплоты, которая должна обеспечивать лучшую степень охлаждения и возможность поддержания в требуемых пределах теплового состояния двигателя при различных режимах и условиях работы.

Для избежания слишком высоких термальных напряжений и расширений, сгорания смазывающих двигателей, перегрева деталей все зарубашечное пространство двигателя должно интенсивно охлаждаться, особенно рубашка камеры сгорания [1].

Система охлаждения дизельных АПД

Рассмотрим стандартную систему охлаждения и варианты ее модернизации.

• Базовая система жидкостного охлаждения.

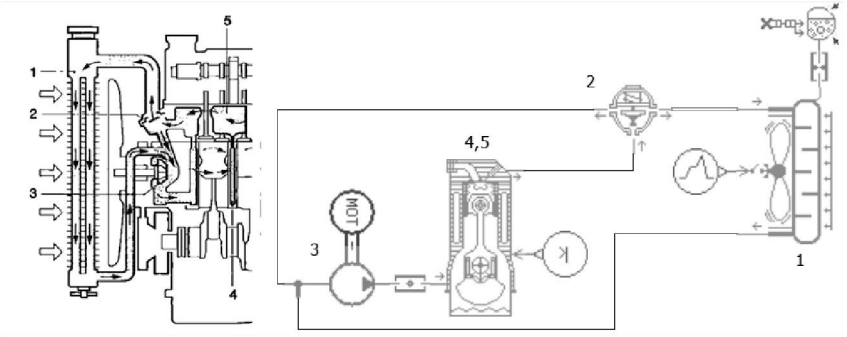


Рис. 1. Базовая система жидкостного охлаждения:
а) принципиальная схема системы жидкостного охлаждения;
б) модель системы охлаждения: 1 – радиатор; 2 – термостат; 3 – насос;
4 – каналы в блоке цилиндров;
5 – охлаждающие каналы в блоке цилиндров

Охлаждающая жидкость (ОЖ), поступая из зарубашечного пространства двигателя (4, 5) направляется в термостат (2), где в зависимости от температуры направляется в малый либо в большой круги охлаждения, после чего направляется в насос (3), откуда

вновь в двигатель. В малом круге фактически не происходит охлаждения, поскольку он предназначен для прогрева двигателя [2]. При достижении температуры ОЖ 90°С начинает открываться второй проход термостата, ведущий в большой круг охлаждения. В нем жидкость попадает в воздушный радиатор (1), где отдает температуру, после которого направляется в водяную помпу (3).

Выполним моделирование прогрева в программном комплексе 1D моделирования LMS Amesim [3].

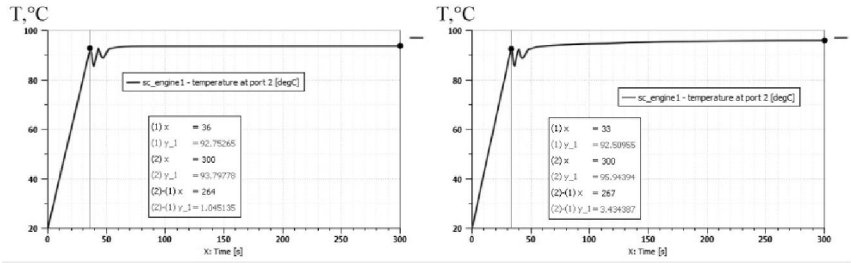


Рис. 2. Температура ОЖ в результате симуляции:
а) температура ОЖ при 1500 оборотах/мин;
б) температура ОЖ при 2000 оборотах/мин

• Система охлаждения с использованием регулируемых жидкостных насосов.

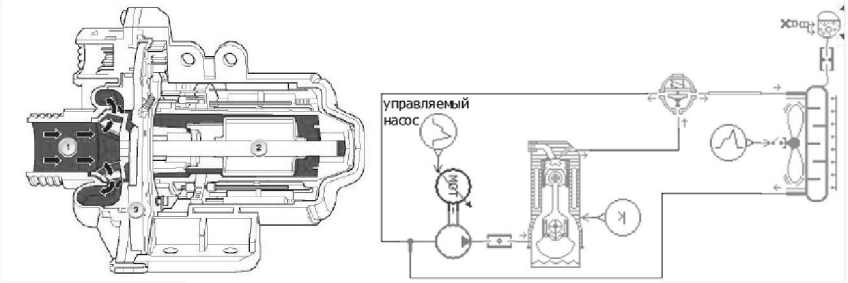


Рис. 5. Регулируемый жидкостный насос:
а) Электрический регулируемый водяной насос двигателя N54 BMW;
б) Модель системы охлаждения с регулируемым жидкостным насосом в LMS Amesim

Стандартный осевой водяной насос имеет механический привод с помощью ременной передачи от распределительного вала. Охлаждающая жидкость прокачивается через рубашку охлаждения с интенсивностью зависящей от оборотов двигателя, чего может быть недостаточно для эффективной работы. Регулирование привода позволяет увеличивать расход охлаждающей жидкости в зависимости от температуры и потребностей системы. Так же возможно движение жидкости при экстренном отключении двигателя, для избежания перегрева.

Во время проведения симуляции (рис. 6), был заведомо увеличен расход жидкости на стадии прогрева и снижен в установившемся режиме.

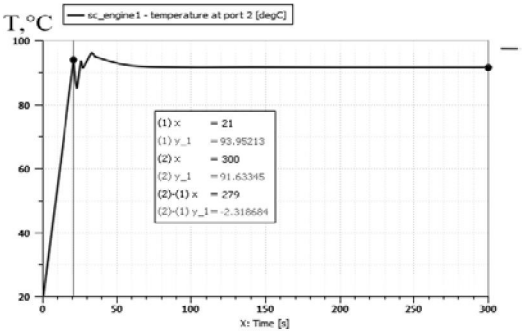


Рис. 6. Температура ОЖ на выходе двигателя при использовании регулируемого жидкостного насоса

Заключение

На данный момент продолжается работа по настройке модели для приведения её к реальному образцу, но уже на текущем этапе можно выявить эффективность применения дополнительных устройств для улучшения работы системы охлаждения.

Надо отметить, что несмотря на эффективность управляемого термостата, его работа не всегда будет автономной, сигналы, приводящие в действие нагревательный элемент, в данном исполнении подаются по сигналу от человека (та же педаль акселератора). Соответственно задействуется больше систем, что увеличивает вероятность отказа либо поломки. Регулируемый жидкостный насос не

требует непосредственного вмешательства человека, так же позволяет продолжать охлаждение при выключенном двигателе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (уникальный идентификатор соглашения - RFMEFI57715X0195).

Список литературы

1. Комплексные расчеты элементов ГТД с учетом пластичности и ползучести с применением методов конечно-элементного и структурного анализа. Учебно-методическое пособие к лабораторным работам. Р.Ш. Мисбахов, В.М. Гуреев, Н.И. Москаленко, А.М. Ермаков, П.В. Бондарчук, Д.П. Давыдов, А.С. Котов, И.З. Багаутдинов. Казань: Центр инновационных технологий, 2014. – 248 с.

2. Моделирование процессов теплообмена и гидродинамики в кожухотрубном теплообменном аппарате. Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. № 11-12, 2015, 75–80 с. Р.Ш. Мисбахов, В.М. Гуреев, Н.И. Москаленко, А.М. Ермаков 126–127 с.

3. Гимадиев А.Г. LMS Imagine.lab AMESim как эффективное средство моделирования динамических процессов в мехатронных системах: учебное пособие // А.Г. Гимадиев, П.И. Грешняков, А.Ф. Синяков – Самара, 2014. – 136 с.

INCREASE OF THE EFFICIENCY OF THE PISTON ENGINE COOLING SYSTEM ON THE BASIS OF ITS MODEL 1D

Khismatullin R., Berezin, V.
Supervisor: R. Salakhov, Ph. D.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this paper we present an overview of the standard cooling system for an aviation piston engine. Simulation of it in the program LMS AMESim. Overview of the modification of the cooling system.

УДК 629.113

МЕТОДЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Березин В.В., Хисматуллин Р.М.
Научный руководитель: Р.Р. Салахов, к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В работе рассмотрена возможность модернизации системы охлаждения в дизельном двигателе трактора, что приведет к сокращению потерь энергии. Это достигается путем анализа всех нагреваемых элементов двигателя, и создания для них идеальных температурных условий.

Температуры рабочих газов в камере сгорания дизельного двигателя примерно являются 750—900 ° С. Часть энергии от температуры поступает на детали двигателя – камера сгорания, шатун, вал, поршень, головка блоков цилиндра, и т.д.). Из-за этого температура их увеличивается.

Если недостаточно охладить нагретые детали, то двигатель будет работать не в оптимальном режиме, и даже может выйти из строя из-за:

– свойства масла смазывать трущиеся поверхности уменьшаются, становятся хуже, и это приводит к повышению потерь на трение, расход масла и увеличивается износ деталей;

– рабочая смесь может раньше времени;

– зазоры становятся меньше, и может произойти заедание движущихся деталей.

Отобранное тепло от нагретых деталей поступает в атмосферу. Происходят незначительные потери тепла. Конечная цифра зависит от системы охлаждения, строения двигателя и конструкционных особенностей [1].

Излишнее понижение температуры двигателя может привести к потерям полезной энергии, горючее будет хуже испаряться, будет наблюдаться снижение тяги двигателя, процесс воспламенения будет происходить сложнее, горение замедлится. А еще остат-

ки топлива (частички) будут конденсироваться на стенках цилиндра, смывая с них масло и попадая в картер. Тем самым разжижая масло в нем. Это ухудшается систему смазки двигателя.

В дизельных двигателях излишнее охлаждение приводит к отложению смолистых веществ на деталях поршневой группы [2].

Ряд приспособлений и агрегатов имеется на двигателе, которые служат на благо поддержания идеального температурного режима каждого элемента – это называется системой охлаждения двигателя (СО) [3].

В дизельных двигателях применяют жидкостное и воздушное охлаждение. Воздушная система охлаждения – тепло передается от нагретых стенок камеры сгорания (цилиндров) воздуху, а при жидкостной системе охлаждения – тепло передается жидкости, а она передает воздуху в окружающей среде. В основном в качестве жидкости для охлаждения используют воду, а зимой – антифриз [4].

При построении жидкостной системы охлаждения – жидкость омывает стенки цилиндра с камерой сгорания и поступает к рубашку охлаждения, где понижает свою температуру. В радиаторе вода охлаждается, где происходит теплообмен между окружающим воздухом и нагретой водой. После этого вода снова поступает в водяную рубашку. Этим самым поддерживается непрерывность работы системы охлаждения. Жидкость имеет примерно 82—97 °С при работе двигателя [5].

При рассмотрении слабых двигателей (мотоциклы, мотороллеры), элементы его охлаждаются набегающим воздухом. Для двигателей большой мощности (тракторы, машины) необходимо применять принудительный обдув вентилятором. Вентилятор нагнетает охлаждающий поток по воздухораспределительному кожуху.

СО, построенная на воздушном типе, удобнее в эксплуатации и проще. И масса и габариты при воздушной СО меньше, чем при принудительной системой водяного охлаждения.

У воздушной СО есть существенные недостатки:

– неравномерное охлаждение деталей двигателя;

– потеря индикаторной мощности на привод вентилятора (8 %);

– высоковатая температура выходящего воздуха;

– трудности при запуске движка при отрицательной температуре окр./возд.

В начале статьи было описано как важно поддержания необходимой температуры на каждом элементе двигателя. Что это влияет на эффективность двигателя, экономичность. В своем проекте я собираюсь рассмотреть все элементы двигателя, которые охлаждаются, изучить зависимость их работы от температуры. И с помощью модернизации водяных каналов приближать рабочие значения температуры этих элементов к идеальным параметрам.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (уникальный идентификатор соглашения - RFMEFI57715X0195)

Список литературы

1. Петриченко Р.М. Системы жидкостного охлаждения быстроходных двигателей внутреннего сгорания. / Петриченко Р.М. – 1975. – 224 с.

2. Костин А.К. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания. / Костин А.К., Ларионов В.В., Михайлов Л. И. – Л.: Машиностроение 1979. – 222 с.

3. Дьяченко Н.Х. Теплообмен в двигателях и теплонапряженность их деталей / Н.Х. Дьяченко, С.Н. Дасиков, А.К. Костин, М.М. Бурдин Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1969. – 320 с.

4. Эфрос В.В. Влияние температуры охлаждающей жидкости на показатели трехцилиндрового тракторного дизеля / Эфрос В.В., Лазарев В.М. – «Тракторы и сельскохозяйственные машины». – 2008. № 5 – С. 18-19.

5. Эфрос В.В. Показатель эффективности системы охлаждения тракторных дизелей / Эфрос В.В., Лазарев В.М. – «Известия ВУЗов. Машиностроение». – 2008. – № 3 – С. 51–62.

IMPROVEMENTS TO THE COOLING SYSTEM OF THE DIESEL ENGINE

Berezin V., Khismatullin R.
Supervisor: R. Salakhov, Ph. D.
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The paper discusses the possibility of upgrading the cooling system in a diesel engine of the tractor, which will reduce energy losses. This is accomplished by analyzing all of the heated elements of the engine, and ideal temperature conditions.

УДК 51-73:621.574

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ И НЕКОТОРЫХ ФРЕОНОВ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ И ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

Болдырев А.В., Карелин Д.Л., Мулюкин В.Л.
(Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет", г. Набережные Челны)

Рассмотрены термодинамические циклы сжатия рабочих агентов: одноступенчатый и двухступенчатый с полным промежуточным охлаждением для некоторых фреонов 133a, 132b, 253, 10 и Гексафторбензола. Приведены результаты численного исследования их энергетических характеристик: работы адиабатного сжатия и холодопроизводительности. По результатам исследования даны рекомендации по использованию рабочих агентов в парокомпрессионных системах охлаждения.

Система охлаждения, является одной из основных составляющих любой энергетической установки. Тенденция к повышению удельной мощности энергетических машин и ведущимися разработками перспективных тяговых систем с комбинированным двигателем (ДВС с электро-трансмиссией) [1], ставит вопрос поиска альтернативных классической системе охлаждения систем, использующих процессы кипении и конденсации рабочего агента, как более эффективные с точки зрения теплоотдачи. Указанные системы и способы охлаждения описаны в работах авторов [2-5]. В таких системах необходимо использовать рабочие агенты с высокой температурой кипения T_0 при нормальных условиях от 40°С до 80°С.

Таким образом, вопрос выбора высокотемпературного рабочего агента для теплового насоса и парокомпрессионной системы охлаждения, имеющего наибольшую удельную холодопроизводи-

тельность при достаточной экологической безопасности, актуален.

В качестве высокотемпературных рабочих агентов в настоящей работе выбраны: фреон-132b (T_0 = 46.8°C, критическая температура $T_{КР}$ = 218°C, ODP=0.008-0.05), фреон-253 (T_0 = 45.1°C, критическая температура $T_{КР}$ = 192°C, ODP=0.003-0.03), фреон-10 (T_0 = 76.75°C, критическая температура $T_{КР}$ = 283.2°C, ODP=0.73) и Гексафторбензол (T_0 = 80.1°C, критическая температура $T_{КР}$ = 242.9°C, ODP=0). Для сравнения энергоэффективности высокотемпературных и среднетемпературных рабочих агентов и, использовался фреон-133a (T_0 = 6.1°C, критическая температура $T_{КР}$ = 155°C, ODP=0.02-0.08).

Расчет затрат энергии на работу адиабатного сжатия рабочего агента производился по данным таблиц теплофизических свойств [6], с использованием уравнения для одноступенчатого цикла сжатия:

$$l_{a,i} = \left(P_{interp}(T_1)\right)\cdot\left(\nu_{interp}(T_1)\right)\cdot\frac{k}{k-1}\cdot\left(\left(\frac{P_{i+1}^{interp}(T_{i+1})}{P^{interp}(T_1)}\right)^{\frac{k-1}{k}}-1\right) \qquad (1)$$

и уравнения для многоступенчатого цикла сжатия с полным промежуточным охлаждением [7]:

$$l_{a,i} = \sum_{m=1}^{a}\left(\left(\prod_{n=1}^{m}(\mu_{n-1})\right)\cdot\left(P_1\cdot\left(\frac{P_{m+1,i}}{P}\right)^{\frac{m-1}{m}}\right)\cdot\left(\nu_{interp}(T_i)\right)\cdot\frac{k}{k-1}\cdot\left(\left(\sqrt[m]{\frac{P_{m+1}^{interp}(T_{m+1})}{P^{interp}(T_1)}}\right)^{\frac{k-1}{k}}-1\right)\right) \qquad (2)$$

где в уравнениях (1) и (2) $i \in 1...n$ - диапазон расчета, n - целое число;

m – число ступеней изоэнтропного сжатия (m=2);

$P_{interp}(T_1)$ и $\nu_{interp}(T_1)$ - соответственно функции для определения значений давления и удельного объема фреона в начале процесса сжатия по значению температуры путем интерполяции данных в таблицах [6].

Холодопроизводительность рассчитывалась при сжатии в

идеальном компрессоре по отношению:

$$\varepsilon_i = \frac{i_1^{''interp}(T_1) - i_{i+1}^{'interp}(T_{i+1})}{l_{a,i}} \qquad (3)$$

где $i_{i+1}^{'interp}(T_{i+1})$ и $i_1^{''interp}(T_1)$ - соответственно функции для определения значений энтальпии рабочего агента на линии насыщения со стороны жидкости и перегретого пара по значению температуры путем интерполяции данных в таблицах [6].

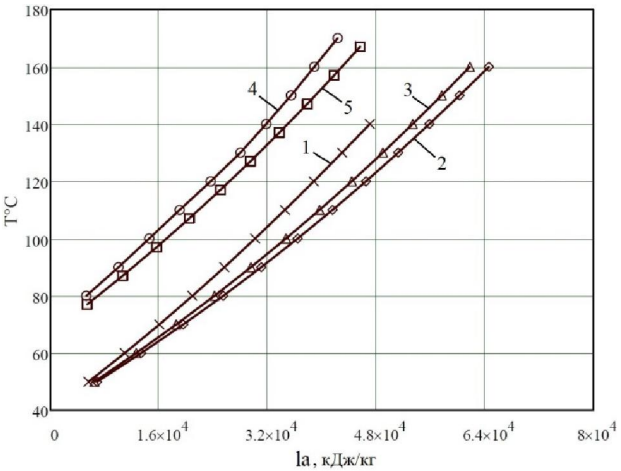


Рис. 1. Одноступенчатый цикл сжатия: 1 – фреон-133a, 2 – фреон-253; 3 – фреон-132b; 4 – Гексафторбензол; 5 – фреон-10

Результат расчета затрат энергии на работу сжатия по (1) и (2) в зависимости от температуры насыщения $l_a = f(T)$ представлен на рис. 1 и 2 соответственно. Результат расчета холодопроизводительности по (3) для каждого из рассматриваемых рабочих агентов и термодинамических циклов сжатия, как функция от температуры конденсации $\varepsilon = f(T)$, представлен на рис. 3 и 4.

Из рисунков 1 и 2 видно, что в первом случае у высокотемпературных рабочих агентов с температурой кипения T_0 близкой к нижней границе (40°C), фреон-132b при одинаковой температуре

насыщения T имеет меньшие затраты энергии на работу сжатия, чем фреон-253. Во втором случае у рабочих агентов с температурой кипения T_0, близкой к верхней границе (80°C), при одинаковой температуре насыщения T, Гексафторбензол также имеет меньшие затраты энергии на работу сжатия.

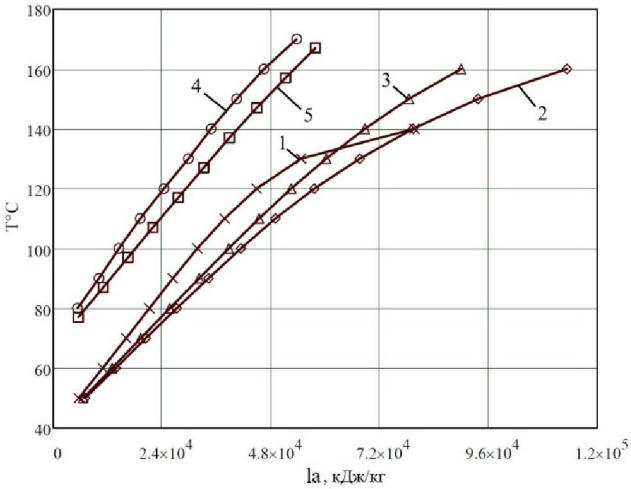


Рис. 2. Двухступенчатый цикл сжатия с полным промежуточным охлаждением: 1 – фреон-133a, 2 – фреон-253; 3 – фреон-132b; 4 – Гексафторбензол; 5 – фреон-10

Холодильный коэффициент ε (см. рис. 3) в первом случае при одной и той же температуре насыщения T у фреона-132b больше, чем у фреона-253, а во втором случае у фреона-10 больше, чем у Гексафторбензола. Поэтому для систем охлаждения, работающих при температуре охлаждения близкой к нижней границе, наиболее предпочтительно использовать фреон-132b, а в верхней границе фреон-10. Однако у фреона-10 достаточно высокий ODP, и он не является экологически безопасным, поэтому Гексафторбензол среди представленных рабочих агентов является безальтернативным.

Термодинамический цикл сжатия с полным промежуточным охлаждением (см. рис. 4) имеет большее значение холодильного коэффициента в сравнении с одноступенчатым циклом несмотря на

большие затраты энергии на работу изоэнтропного сжатия.

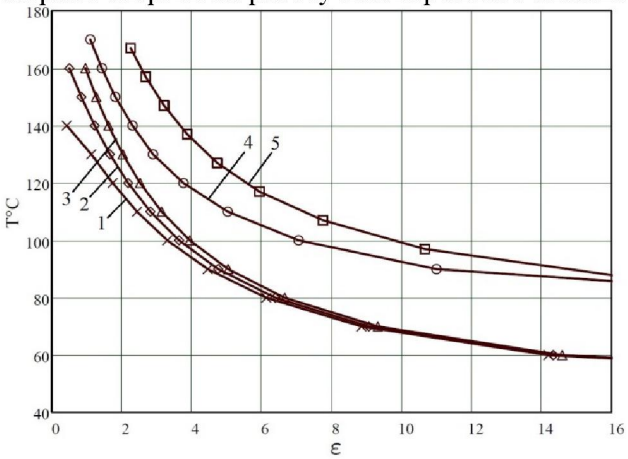


Рис. 3. Холодильный коэффициент в зависимости от температуры насыщения для одноступенчатого цикла сжатия: 1 – фреон-133a, 2 – фреон-253; 3 – фреон-132b; 4 – Гексафторбензол; 5 – фреон-10

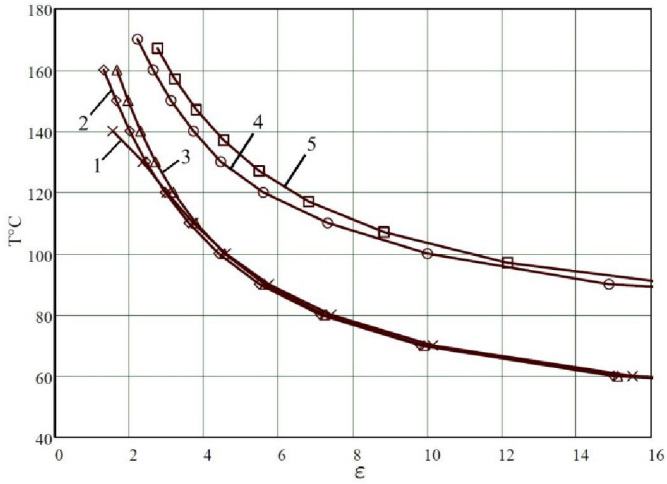


Рис. 4. Холодильный коэффициент в зависимости от температуры насыщения для двухступенчатого цикла сжатия с полным промежуточным охлаждением: 1 – фреон-133a, 2 – фреон-253; 3 – фреон-132b; 4 – Гексафторбензол; 5 – фреон-10

В заключение статьи следует отметить, что среди рассмотренных рабочих агентов, фреон-133а имеет самую низкую энергоэффективность, что связано с уменьшением теплоты парообразования при росте температуры насыщения, поэтому рабочие агенты, применяемые в холодильной технике и системах кондиционирования и имеющие низкую температуру кипения T_0 при нормальных условиях, не целесообразно использовать в парокомпрессионных системах охлаждения.

Целесообразность применения цикла с двухступенчатым сжатием и полным промежуточным охлаждением рабочего агента необходимо оценивать по изменению удельных объемов рабочих камер в зависимости от температуры насыщения $v_{1-2} = f(T)$.

Список литературы

1. Илимбетов Р.Ю., Астапенко А.М. Разработка компоновочной схемы комбинированной энергетической установки для грузового автомобиля с улучшенными экологическими показателями // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение», 2013, Т 13. № 1. С. 72-78.

2. Утиленко А. И. Принципы построения высокоэффективных систем охлаждения электронных приборов. Дис. … докт. техн. наук. Рязань.: РГРТУ, 2009. 419 с.

3. Склифус Я.К. Сокращение энергопотребления системы охлаждения дизеля тепловоза изменением функциональной схемы и способа передачи тепла. Дис. … канд. техн. Наук. Ростов-на-Дону: РГУПС, 2015. 159 с.

4. Карелин Д.Л. Моделирование параметров парожидкостной компрессионной системы охлаждения энергетических установок. // Тез. докл. Международная конф. «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы-2016». Казань: АО «КНИАТ», 2016. Т. 2. С. 79-83.

5. Карелин Д.Л. Оценка эффективности системы охлаждения с парожидкостной компрессионной установкой // Тепловые процессы в технике. 2016. Т. 8. № 9. С. 408-415.

6. Максимов Б.Н., Баранов В.Г., Зотиков В.С. Промышлен-

ные фтороорганические продукты. Справ. изд. Л.: Химия, 1990. 464 с.

7. Карелин Д.Л., Болдырев А.В., Гуреев В.М. Математическая модель многоступенчатого сжатия рабочего тела с полным промежуточным охлаждением // Труды Академэнерго. – Казань, 2016. – №3. Стр. 100-107.

ESTIMATION OF ENERGY EFFICIENCY OF THERMODYNAMIC CYCLES AND SOME FREONS FOR HIGH-TEMPERATURE HEAT PUMPS AND VAPOR COMPRESSION COOLING SYSTEMS

Boldyrev A., Karelin D., Mulyukin V.
(Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny Institute, Naberezhnye Chelny)

Thermodynamic cycles of compression of working mediums was considered: one-stage and two-stage with full intercooling for Freons 133a, 132b, 253, 10 and Hexafluorobenzene. The results of a numerical research of their energy characteristics was given: adiabatic compression work and cooling capacity. Based on the results of the research, recommendations was given on the use of working mediums in vapor compression cooling systems.

УДК 697.343

РЕГЕНЕРАТИВНО-УТИЛИЗАЦИОННОЕ ТЕПЛОИСПОЛЬЗОВАНИЕ В НЕПРОХОДНЫХ КАНАЛАХ ТЕПЛОТРАСС

Бубырь Т.В.
Научный руководитель: В.А. Седнин, д.т.н., профессор
(Белорусский национальный технический университет, г. Минск)

Для решении задачи повышения эффективности эксплуатации теплопроводов тепловых сетей, размещенных в непроходных каналах, предложено схемно-структурное решение организации системы регенеративно-утилизационного теплоиспользования, путем применения принудительной вентиляции этих каналов наружным воздухом и использованием тепловых насосов для трансформации теплоты нагретого воздуха до температурного уровня, достаточного для использования в целях теплоснабжения. Определены условия, при которых данная система может быть энергоэффективна, задачи и методы исследования процессов теплопереноса в условиях принудительной вентиляции непроходных каналов.

Одним из основных доводов противников централизованного теплоснабжения является ссылка на необходимость в тепловых сетях для транспорта тепловой энергии на большое расстояние со значительными технологическими потерями теплоты. Безусловно, прокладка тепловых сетей требует дополнительных капитальных затрат, а тепловые потери при транспорте тепловой энергии требуют дополнительных затрат на топливо, и совместно оба этих фактора - влияют как на энергоэффективность системы теплоснабжения в целом, так и на тариф отпускаемой энергии. И хотя эти недостатки перекрываются соответствующими преимуществами централизованного теплоснабжения [1-3], тем не менее, решение проблемы минимизации тепловых потерь в системах централизованного теплоснабжения всегда была важной и экономически оправданной.

Одним из основных подходов решения этой проблемы в настоящее время является применения новых контсруктивов для тепловых сетей, в частности, с применением предизолированных теплопроводов

заводской готовности [4]. Однако, несмотря на современную тенденцию применения бесканальной прокладки предизолированных теплопроводов, в существующих системах централизованного теплоснабжения теплотрассы, проложенные в непроходных каналах, имеют достаточно большой удельный вес. Учитывая высокую стоимость изготовления и прокладки теплопроводов, их полная замена с применением инновационных технологий займет еще не одно десятилетие. В этой связи остается актуальными разработка и исследование технологий повышения энергоэффективности эксплуатации существующих теплопроводов, проложенных в непроходных каналах.

Следует отметить, что в качестве теплоизоляционного материала теплопроводов в непроходных каналах, большей частью, используется минеральная вата, имеющая коэффициент теплопроводности 0,044 Вт/(м·°С), несколько больше, чем у пенополиуретановой изоляции 0,035 Вт/(м·°С). Но рассеивание теплоты существующими теплопроводами оценивается до 13 % и выше, что превышает норматив на 4 % и более, и в 1,5…2 раза превышает эту характеристику для теплотрасс с ПИ-трубами [4]. В большой степени такая ситуация связана с утратой теплоизоляционных свойств минеральной ваты в связи с ее увлажнением в процессе эксплуатации теплопроводов, проложенных в непроходных каналах. Одним из способов борьбы с увлажнением изоляции является устройство естественной приточно-вытяжной вентиляции, призванной обеспечить удаление влаги из атмосферной части канала. Тем не менее, подобное решение не всегда возможно и не во всех случаях решает задачу удаления влаги из канала. Кроме того, проточная вентиляция каналов может приводит к увеличению тепловых потерь.

В работе [5] представлены результаты исследования в рамках технического решения по использованию непроходных каналов для транспорта вентиляционных выбросов промышленных предприятий на теплоэлектроцентраль для их использования в качестве окислителя в котлах. Показана возможность перемещения по непроходным каналам заметных расходов воздуха (до 50 тыс. м^3/час), на достаточно большие расстояния (до 1 км).

Техническая схема реализации регенеративно-утилизационной системы теплоиспользования в тепловых сетях с прокладкой трубопро-

водов в непроходных каналах. На теплоисточнике или центральном тепловом пункте (ЦТП) устанавливается вентиляционная теплонасосная воздушная установка, представляющая собой комбинацию газодувки (вентилятора) и компрессионного теплового насоса типа «воздух-вода» (ВТНУ) [6], обеспечивающий, во-первых, прокачку наружного воздуха через непроходной канал сопряженного участка теплотрассы, во-вторых, требуемую степень трансформацию теплоты, поступающей с этим воздухом. Это позволяет использовать полученные потоки теплоты для нужд теплоснабжения. Таким образом, воздух через специально устроенные воздухозаборники направляется в каналы тепловых сетей, проходя через которые нагревается, и далее поступает в теплообменный аппарат ВТНУ (испаритель или промежуточный теплообменник), и далее охлажденный воздух возвращается в атмосферу.

Следует отметить, привлекательность подобного решения, прежде всего, в отношении использования теплоты грунта. В штатном подходе к утилизации теплоты грунта требуется обустройство поля скважин горизонтальных или вертикальных, что и затратно, и достаточно требовательно в эксплуатации [6]. В условиях городской застройки, с учетом стоимости участков земли использование грунтовых ТНУ практически невозможно. В то же время, непроходные каналы можно рассматривать как готовую систему горизонтально-расположенную канальную систему для утилизации теплоты грунта, что расширяет положительные стороны полезности применения непроходных каналов для прокладки теплопроводов.

Предварительный анализ энергоэффективности регенеративно-утилизационной системы теплоиспользования в тепловых сетях с прокладкой трубопроводов в непроходных каналах. Для определения эффективности предложенной системы ргенеративно-утилизационного теплоиспользования для теплопроводов в непроходных каналах требуется решить комплекс задач. Первоочередными среди них являются определение величины и структуры потока теплоты нагрева воздуха при прохождении через участок канала, а также требуемого напора вентилятора, который должен быть побуждающим устройством для прокачки воздуха по каналу.

Теплопритоки к воздуху, проходящему по каналу, определяются комплексом факторов, среди которых наиболее значимыми являются

длина канала, скорость воздуха в нем, характерный размер канала, температурный напор теплопередачи от сетевой воды к воздуху канала, характеристики тепловой изоляции. При этом, требуется выполнять очевидное ограничение: для исключения рассеяния тепловой энергии в грунт, температура воздуха в канале не должна превысить температуру грунта вокруг канала. Здесь же следует указать и другое ограничение: необходимо, чтобы последующее охлаждение прокачиваемого воздуха происходило до значения температуры не превышающего температуру наружного воздуха, который поступает в канал из окружающей среды в данный период времени. Что обеспечивает полное использование теплоты, затраченной на нагрев наружного воздуха при его нахождении в канале.

В качестве критерия эффективности на первом этапе исследования можно принять экономию первичного энергоресурса (топлива) в системе централизованного теплоснабжения или отдельном сетевом районе.

Структура теплового потока, затраченного на нагрев воздуха, может быть определена балансовым методом путем суммирования: теплопотерь от прямого и обратного теплопровода (охлаждения прямой и обратной сетевой воды) на участке, теплоотвода от грунта через стенки канала. В первом приближении, для оценки величины потоков утилизации теплоты грунта и теплоты рассеяния теплопроводами в канале можно ориентироваться на расчетную величину теплопотерь в теплотрассах систем централизованного теплоснабжения [5]. Однако задача расчета тепловых потерь сама по себе достаточно сложная и окончательно до сих пор не решена [7]. В этой связи целесообразно для решения задачи нагрева воздушного потока в канале теплотрассы целесообразно прибегнуть к численным методам моделирования с использованием стандартных прикладных пакетов, в частности, программный комплекс ANSYS [8, 9]. В этом случае можно говорить о приемлемости полученных результатов для адаптации и обобщения с целью применения в проектной практике.

Анализируя рассмотренную ситуацию можно констатировать целесообразность проведения исследований использования теплоты охлаждения воздуха, в течение как отопительного, так и межотопительного периодов времени с определением минимальной температуры

охлаждения воздуха по выбранной целевой функции для того или иного числа часов стояния наружных температур той или иной градации.

В тоже время следует отметить, что хотя авторы и сознают определенную техническую гипотетичность решаемой задачи, в целом исследования в данном направлении преследует цель создания инновационных конструктивов теплопроводов с «активной» теплоизоляцией, т.е. создания теплопроводов с нулевой плотностью теплового потока на границе между с окружающей средой.

Выводы. Искусственная вентиляция непроходных каналов теплотрасс может наряду с поддержанием проектных характеристик минераловатной изоляции трубопроводов обеспечить возможность повышения энергоэффективности систем теплоснабжения путем регенерации и утилизации низкотемпературных тепловых потоков от теплопроводов, грунта и наружного воздуха с последующей трансформацией их потенциала до уровня, допустимого к использованию в системах теплоснабжения. Для организации регенеративно-утилизационной схемы теплоиспользования в непроходных каналах тепловых сетей предлагается использовать в тепловых пунктах вентиляционные компрессионные теплонасосные установки.

Для разработки методики расчета и проектирования регенеративно-утилизационной схемы теплоиспользования в непроходных каналах тепловых сетей планируется проведение исследования процессов тепломассобмена методом численного моделирования. Предполагается, что полученные результаты исследования позволят также предложить новые конструктивы теплопроводов с «активной» теплоизоляцией.

Список литературы

1. Яковлев Б.В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения. – Мн.: Адукация і выхаванне, 2002. – С.448.

2. Зингер Н.М., Белевич А.И. Развитие теплофикации в России // Электрические станции. – 1999. № 10.– С. 2–8.

3. Седнин, В.А. Теория и практика создания автоматизированных систем управления теплоснабжением.– Минск: Изд-во БНТУ, 2005.– 192 с.

4. Копко, В.М. Теплоснабжение / В.М. Копко. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 336 с.

5. Марченко, А.В. Разработка технологий использования котлоагре-

гатов ТЭЦ и их дутьевых вентиляторов для транспорта и утилизации вентиляционных выбросов промышленных предприятий и автомагистралей: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук 05.14.04 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты; 05.14.05 – Промышленная теплоэнергетика / А.В. Марченко. – Ульяновск, 2008. – 175 с.

6. Амерханов, Р.А. Тепловые насосы / Р.А. Амерханов. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 160 с.

7. Тарасевич, Е.И. Численное моделирование теплообмена для двухтрубных тепловых сетей при подземной канальной и бесканальной прокладке / Е.И. Тарасевич. – Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2 (часть 22) – С. 4880-4885.

8. Бруяко, В.А. Инженерный аналих в ANSYS Workbench / В.А. Бруяко, В.Г. Фокин, Е.А. Соядусов и др. / Самара: Самар. Госуд. Техн. Ун-т, 2010. – 271 с.

9. Федорова, Н.Н. Основы работы в ANSYS / Н.Н. Федорова, С.А. Вальгер, М.Н. Данилов, Ю.В. Захарова, Издательство: ДМК Пресс. – 2017. – 210 с.

REGENERATIVE HEAT RECOVERY IN CRAWLWAY HEATING LINE

Bubyr T.
Supervisor: V. Sednin, Doctor of Technical Sciences, Professor
(*Belarusian National Technical University*)

To solve the problem of increasing the efficiency of heating networks operation the scheme-structural solution of the regenerative heat recovery system organization was proposed by applying forced ventilation of channels by external air and using heat pumps. Conditions for energy-efficient work, tasks and methods for studying heat transfer processes in conditions of forced ventilation of not-go heating duct are defined.

УДК 621.362.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННОГО ОБЪЕКТА

Васильев Д.А.
Научный руководитель: Р.Х. Гумерова, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Приводится сравнение термоэлектрического генератора с другими альтернативными источниками электроэнергии для автономного электроснабжения удаленного объекта.

В местах, где стандартные виды электроэнергии отсутствуют, прокладка кабеля питания для передвижных автономных энергетических установок, которые питают труднодоступные объекты, невозможна или экономически невыгодна и по своей стоимости может во много раз превосходить устройства автоматики и телеметрии, могут применяться различные возобновляемые источники энергии, в частности, специальные устройства – Термоэлектрические генераторы (ТЭГ). Термоэлектрический генератор – это устройство, преобразующее разность температур в электрический ток. К термоэлектрическим явлениям относится группа физических явлений, обусловленных существованием взаимосвязи между тепловыми и электрическими процессами в проводниках электричества. В замкнутой цепи, состоящей из разнородных материалов, возникает термоэлектродвижущая сила (ТЭДС), если места контактов (спаев) поддерживать при различных температурах (эффект Зеебека). В простейшем случае, когда электрическая цепь состоит из двух различных проводников, последнюю называют термоэлементом, или термопарой.

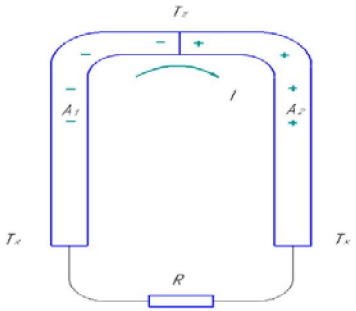


Рис. 1. Схема термоэлектрического элемента

ТЭДС E зависит только от температур горячего $T_г$ и холодного T_x спаев и природы материалов, составляющих термоэлемент. Для небольшого интервала температур (-60 C до +40 C) ТЭДС можно с достаточной для практических целей точностью считать пропорциональной разности температур и некоторому коэффициенту α, называемому коэффициентом ТЭДС:

$$E = \propto (T_г - T_x) \quad (1)$$

где: E – термоэлектродвижущая сила;

α – коэффициент ТЭДС;

$T_г$ – температура горячего спая;

T_x – температура холодного спая.

Коэффициент ТЭДС имеет размерность *в/град* и зависит от свойств материалов ветвей термоэлемента и интервала рабочих температур, в некоторых случаях он меняет знак с изменением температуры. Качественно явление Зеебека можно объяснить следующим образом. В различных проводниках энергия свободных электронов, участвующих в электрическом токе, различна и поразному изменяется с изменением температуры. При наличии градиента температуры вдоль проводника электроны на горячем конце приобретают более высокие скорости и в результате появляется поток электронов от горячего конца к холодному: на холодном конце накапливается отрицательный заряд, а на горячем остается нескомпенсированный положительный заряд. Накопление продолжается до тех пор, пока возникшее падение потенциала не создает встречный поток электронов, равный первичному потоку, вызван-

ному различием тепловых скоростей. Разность таких падений потенциалов в двух проводниках, образующих термоэлемент, и обуславливает возникновение ТЭДС [1, с. 14].

Итак, в бытовом помещении площадью 40 квадратных метров, имеется примерно 8 светодиодных ламп мощностью 15 Вт. При среднем времени освещения в 7 часов (и зимой, и летом) составит 0,84 *кВт* в сутки или 25,2 *кВт* в месяц. То есть, расходы на освещение в промышленном помещении площадью 40 квадратных метров составит не более 80 рублей. Современные электрические плиты высокоэффективны, но они потребляют от 5 до 7 *кВт·ч* на полной мощности. Примерные расходы на приготовление пищи при помощи электричества составят от 300 до 500 рублей в месяц вне зависимости от площади здания. Бытовая техника, телевизор, компьютер, зарядные устройства для телефонов, так же расходуют электроэнергию. Устройства такого типа будут потреблять около 2 кВт электроэнергии в день. Примерно от 200 до 300 рублей в месяц будет уходить на поддержание этих устройств. Исходя из вышесказанного следует вывод о том, что энергоемкость бытового помещения составляет 7,34 *кВт·ч/сутки*. Данная цифра указана без учета затрат на отопление помещения, из-за высокой нагрузки электрического обогревателя и недостаточной мощностью других альтернативных источников электроэнергии.

ТЭГ хорошо себя показывают в нефтегазовой сфере, на труднодоступных и необслуживаемых объектах магистральных газопроводов, где отсутствуют стандартные источники электроэнергии, но имеется природный газ. Там они предназначены для автономного питания постоянным током радиоэлектронной аппаратуры, систем связи, катодной защиты, линейной телемеханики и автоматики. Одновременно при этом осуществляется утилизация бесполезно растрачиваемого тепла (попутный газ в Российской Федерации в основном сжигается в факелах, как отходы при нефтедобыче). В тех местах, где есть топливо в неограниченном количестве, и необходима максимальная надежность, в таких случаях термоэлектрические генераторы оказываются идеальным вариантом, особенно с учетом важнейшего фактора: они не нуждаются в обслуживании в течение десяти лет.

Таблица 1

Стоимость затрат на эксплуатацию различных источников электроэнергии

Наименование источника	Капитальные вложения			Эксплуатационные расходы	
	Стоимость оборудования	Ввод в эксплуатацию	Расходы по доставке топлива	Топливо/ электро-энер-гия	Техническое обслуживание, руб. за год
ВЛ (воздушная линия)	18 694 т.р.	35 т.р.	0,00	3 руб. за 1 кВт	94 т.р.
СП (солнечные панели)	252,7 т.р.	50 т.р.	0,00	0,00	20 т.р.
ДГ (дизельный генератор)	70 т.р.	10 т.р.	2 т.р.	37 руб. за 1 литр	18 т.р.
Термоэлектрический генератор (ТЭГ)	1111 т.р.	40 т.р.	0,00	0,00	0,00

Термоэлектрические генераторы мощностью 200 Вт, входящие в состав блока-контейнера в количестве 25 штук, общей мощностью 5 кВт. Стоимость одного генератора ~42 000 рублей. Тогда общая стоимость всех ТЭГ будет составлять 1050 тыс. рублей. Так же необходимо прибавить стоимость изготовления блока контейнера и стоимость работы по установке и наладке аппаратуры – 100 тыс. рублей.

Как видно из таблицы у некоторых источников электроэнергии есть разовые затраты (капитальные), но нет эксплуатационных затрат, или очень небольшие, например, термоэлектрические генераторы.

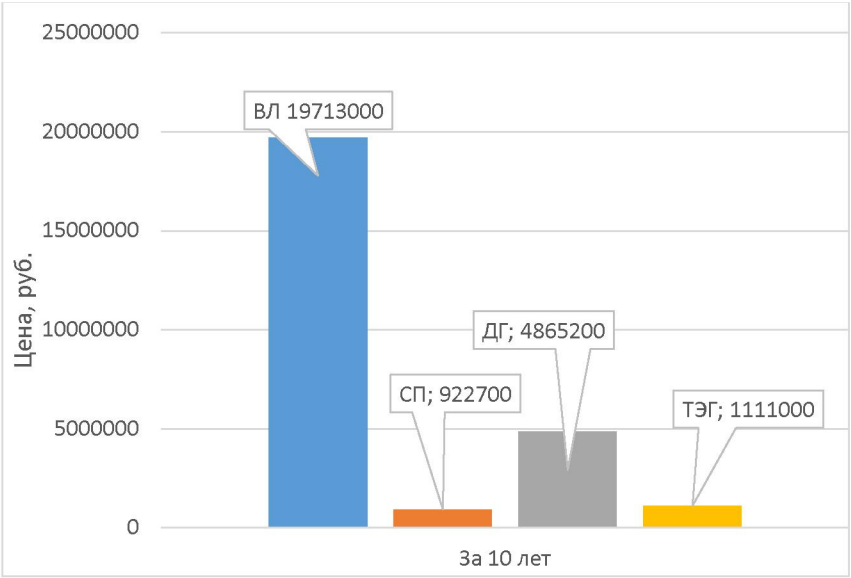


Рис. 2. Стоимость затрат на эксплуатацию
у различных источников электроэнергии

На диаграмме видно, что цены за эксплуатацию увеличивается, кроме, конечно, термоэлектрических генераторов которые полностью автономны и срок их службы составляет около 20 лет, им не требуется капитальный ремонт и техническое обслуживание,

вложения заканчиваются уже на стадии покупки устройства и введения его в эксплуатацию. При условии, что есть источник тепла, как в нефтегазовой сфере, на котором попутно – нефтяной газ бесцельно растрачивается.

Список литературы

1. Поздняков Б.С., Коптелов Е.А. Термоэлектрическая энергетика. М., Атомиздат, 1974 г., 264 с.

USING A THERMOELECTRIC GENERATOR FOR AUTONOMOUS SUPLY OF A REMOTE OBJECT

Vasilyev D.
Supervisor: R. Gumerova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan)

A comparison of a thermoelectric generator with other alternative sources of electric power for autonomous power supply of a remote object is given.

УДК 621.181: 519.876

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАГИРУЮЩИХ ГАЗОУГОЛЬНЫХ ТЕЧЕНИЙ В УСТАНОВКАХ ПОНИЖЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ

Гасилин В.В.
Научный руководитель: В.Г. Крюков, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной работе излагается математическая модель горения распыленного угля в установках с пониженным содержанием вредных выбросов с учетом двух-зонного подвода воздуха и абсорбции окислов серы. Проведены численные исследования с использованием данной модели по определению влияния разности скоростей газового потока и частиц угля на процессы горения.

1. Введение

Твердое органическое топливо, в частности угля, рассматривается как один из основных источников для производства энергии. Однако в процессе сжигания угля происходит серьезное загрязнение окружающей среды, и в основном вредные выбросы включают NO_x, CO, и SO_2. Поэтому необходимо совершенствовать традиционные схемы сгорания угля. В связи с этим предлагаются и исследуются новые типы установок с пониженным содержанием вредных выбросов [1].

2. Описание процессов

Основными рабочими узлами являются «газификатор» (CFB) и «тракт основного сгорания» (DFC). В CFB подаются частицы природного угля (R-уголь) и воздух («нулевая» зона вдува воздуха, $\alpha_{ок}$ = 0,3), в результате чего некоторая доля угля газифицируется. В итоге образуется «угольный» газ (H -газ) и «препарированный уголь» (P- уголь). Процесс газификации протекает при температуре T ≈ 1150K. В этот газо-угольный поток внедряются частицы из-

вестняка, содержащего, в основном, карбонат кальция ($CaCO_3$), который может абсорбировать SO_2.

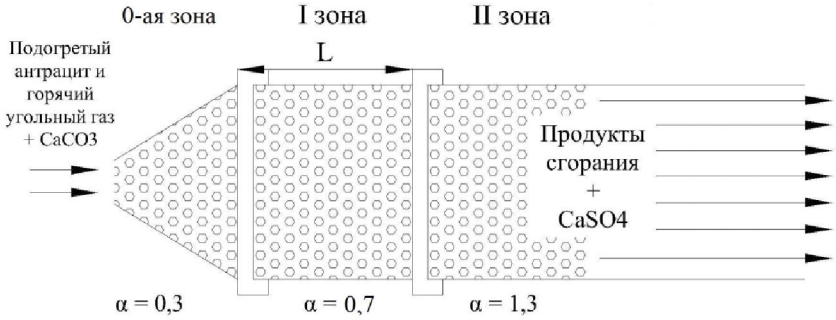


Рис.1. Схема сгорания угля и генераторного газа в тракте DFC с 2-х зонным вводом воздуха

Кроме того, частицы Р- угля имеют развитую поверхность, что способствует его последующему ускоренному сгоранию. Далее смесь Н -газа и препарированного угля поступает в рабочий узел DFC (Рис. 1) с постоянным поперечным сечением. В этом агрегате проходит основной процесс горения для чего предусматривается 2-х зонная подача воздуха:

- на входе в DFC ($L_1 = 0$) с достижением $\alpha_{ок} = 0{,}7$;

- в заданном сечении DFC ($L_1 \approx 1{,}2$м) с достижением $\alpha_{ок} = 1{,}3$.

При такой схеме подачи воздуха температура рабочего тела по всему тракту DFC будет относительно невысокой (Т ≈ 1500К). По крайней мере, высокотемпературная зона будет короткой. В этом случае окись азота *NO* будет содержаться в продуктах сгорания в малой концентрации.

3. Численные исследования по влиянию разности скоростей газового потока и пылеугольных частиц

На основе вышеприведенной схемы сгорания угля разработаны алгоритм расчета и инвариантная программа, по которой выполнялись численные исследования и сравнение с экспериментальными и теоретическими данными других авторов.

Так же представлено сравнение с экспериментальными и теоретическими данными по скоростям образования CaO (кальцинации) по реакции, и $CaSO_4$ (сульфатизации). Результаты сравнения можно считать удовлетворительными. Описание сравнения и его результаты представлены в работах [2,3].

Подробное описание математической модели, в том числе основные уравнения, используемые при моделировании, представлено в работе [3].

Расчеты по влиянию разности скоростей газа и частиц по созданной математической модели выполнялись для битумных углей, характеристики которых даны в таблице 1.

Таблица 1

Состав типичных битумных и суб-битумных углей

Тип угля	Битумный уголь B1
Суммарный анализ (%)	
Летучая фракция	19,4
Фиксированный углерод	69,6
Примеси	9,4
Вода	1,6
Летучие вещества(%)	
CH_4	45,0
C_6H_6	25,0
CO	5,0
CO_2	10,0
O_2	5,0
H_2S	10,0
Минерал. примеси (%)	
Al_2O_3	60,0
SiO_2	40,0
Теплота сгорания (кДж/кг)	33140

Реагирующая система включает 88 вещества, 506 реакций (491 обратимых реакций).

Таблица 2

Основные исходные данные при численных расчетах

T_g^0 [K]	W_0[м/с]	d_{Ca}[мк]	L_v [Дж/кг]	T_w [K]
1073	3.35	45	10^6	800
T_p^0 [K]	a_{Ca} [м^2/гр]	d_p[мк]	P[Па]	G_g^0 / G_p^0
300	20	100	10^5	13.96

На рис.3 Показано изменение относительного расхода углерода (G_c) по длине канала при условиях: ($W_g^0 \approx W_p^0$) и ($W_g^0 >> W_p^0$) для различных начальных диаметров частиц (d_p^0).

Относительный расход угля по длине канала сравнивался при следующих условиях: сплошная линия: скорость газа в 10 раз больше скорости частицы, пунктирная линия: скорость газа приблизительно равна скорости частицы. Сравнения проводились для горения частиц размером 100, 200 и 300 микрон.

Во всех случаях при значительной разности скоростей частицы и газа, частицы угля сгорают быстрее. При размере частиц 100 микрон разница является незначительной.

На рис 3. показано изменение температуры газа T_g по длине канала. Температура газа T_g сравнивалась при тех же условиях: сплошная линия: начальная скорость газа в 10 раз больше скорости частицы, пунктирная линия: начальная скорость газа приблизительно равна скорости частицы. Размеры частиц принимались так же 100, 200 и 300 микрон.

Во всех случаях температура газа повышалась раньше при значительной разнице значений скоростей газового потока и потока угольных частиц. При диаметре частиц 100 микрон разница оказалась незначительной.

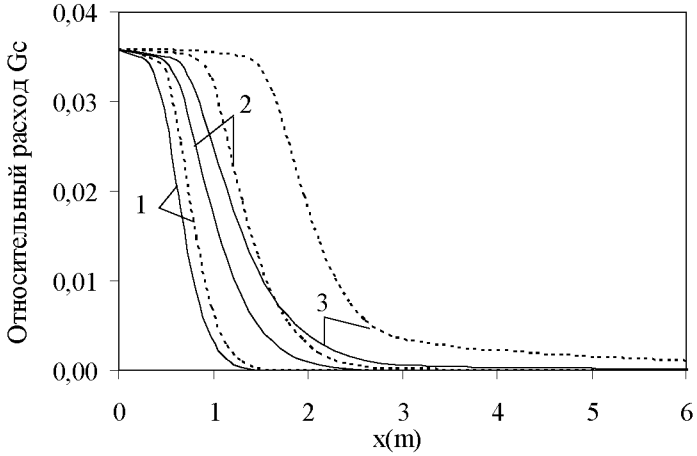


Рис. 2. Зависимости относительного расхода угля по длине канала при $W_g \neq W_p$ (—); $W_g = W_p$ (------); d_p^0 = 100μk; 2- d_p^0 = 200μk; 3- d_p^0 = 300μk (уголь B1)

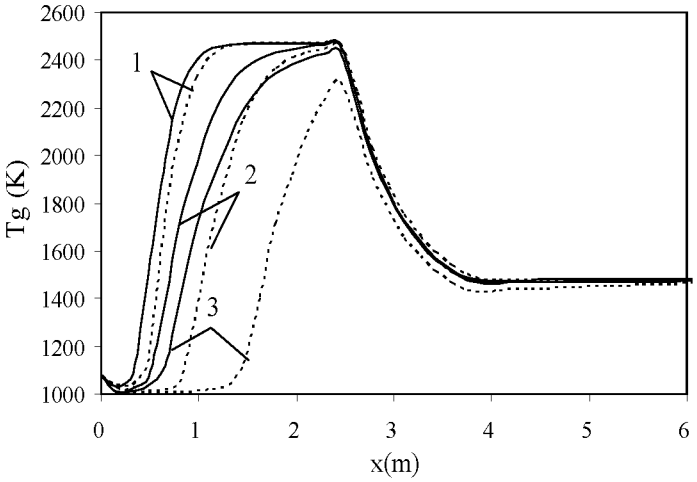


Рис. 3. Зависимости изменения температуры T_g по длине канала при $W_g \neq W_p$ (—) и $W_g = W_p$ (----); 1- d_p^0 = 100μk; 2- d_p^0 = 200μk; 3- d_p^0 = 300μk для угля (B1)

Список литературы

1. Ouyang Z. Zhu J., Lu Q Experimental study on preheating and combustion characteristics of pulverized anthracite coal. // Fuel – 2013 – Vol. 113 – pp. 122-127.

2. Коста В.Ж.., Крюков В.Г. Математическое моделирование горения распыленного угля в потоке с учетом абсорбции окислов серы // Журнал "Физико-химическая кинетика в газовой динамике" – Институт Механики МГУ – 2012 – т.13 – 44 с.

3. Коста В.Ж., Крюков В.Г., Гасилин В.В. Математическая модель абсорбции окислов серы в реагирующем газоугольном потоке. Труды Академэнерго, №1, стр.72-88, 2016.

NUMERICAL STUDIES OF CHARACTERISTICS OF REACTIVE GAS-COAL FLOW IN INSTALLATIONS OF REDUCED POLLUTANT EMISSIONS.

V. Gasilin

Supervisor: V. Kroukov, Doctor of Technical Sciences, Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this paper, is outlined the mathematical model of combustion of pulverized coal in plants with a low content of harmful emissions, taking into account the two-zone air supply and the absorption of sulfur oxides. Numerical studies have been carried out using this model to determine the effect of the difference in the velocities of the gas flow and coal particles on combustion processes.

УДК 536.24

ОСОБЕННОСТИ ОБТЕКАНИЯ ДИФФУЗОРНЫХ ВЫЕМОК ОТРЫВНОГО ТИПА

Гирфанов А.М., Хабибуллин И.И., Зарипов И.Ш.
Научный руководитель: А.В. Щукин, д.т.н., профессор,
А.В. Ильинков, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В докладе приведены экспериментальные данные о распределении коэффициента давления в двух образцах диффузорных выемок отрывного типа вдоль донной линии симметрии выемок.

Поверхностные интенсификаторы теплообмена (см., например, работу [1]), привлекают внимание ученых в связи с их высокой энергетической эффективностью. Проводятся многочисленные исследования их суммарного гидравлического сопротивления, локальной и средней теплоотдачи и др.

Практический интерес представляет анализ условий возникновения и существования крупномасштабных вихревых структур. Как видно из рис.1, в полостях поверхностных интенсификаторов могут существовать горизонтальные спиралеобразные вихревые структуры, установленные под углом β в плане к продольному направлению внешнего потока (рис.1,а,б), а также самоорганизующиеся крупномасштабные смерчеобразные структуры – в сферических и двухполостных диффузорных выемках отрывного типа (рис.1,в-д).

По данным [2] теплоотдача при использовании двухполостных диффузорных выемок возрастает по сравнению с гладкой пластиной, более чем трехкратно. Однако, при всех своих преимуществах над другими поверхностными интенсификаторами, такая выемка сложна в изготовлении, что затрудняет ее практическое использование в системах охлаждения двигателей и энергоустановок.

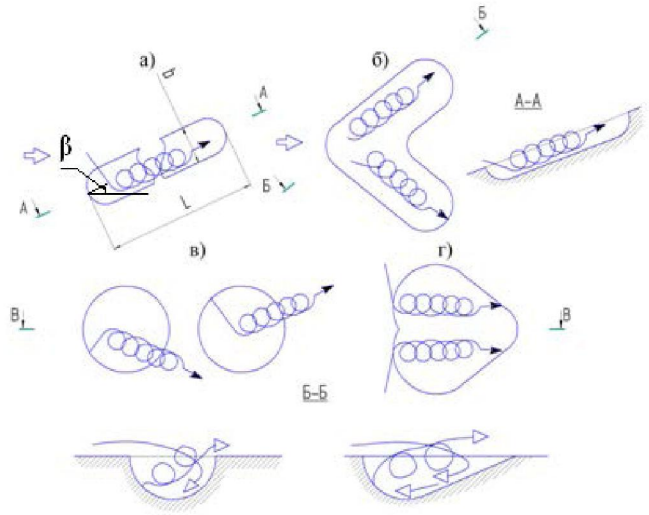


Рис.1. Схемы обтекания типичных выемок отрывного типа: а – овальных, овально-траншейных и траншейных, в зависимости от относительной длины L/b; б – v-образных; в - сферических отрывного типа и г – двухполостных диффузорных выемок

Анализ литературы показывает, что в овальных, овально-траншейных, траншейных [3], а также в v-образных выемках [4], наклоненных в плане к продольной плоскости симметрии на угол β (рис.1,а,б), генерируются спиралевидные горизонтальные вихревых структуры цилиндрической формы. При этом, например, в матрице v-образных выемок теплоотдача возрастает примерно до двух раз, по сравнению с гладкой пластиной.

В докладе приведены экспериментальные данные о распределении коэффициента давления в двух образцах диффузорных выемок отрывного типа вдоль донной линии симметрии выемок.

Схема исследуемых двух образцах диффузорных выемок отрывного типа дана на рис. 2, а геометрические параметры – в таблице 1. Для возвратного течения в плане они имеют диффузорную форму.

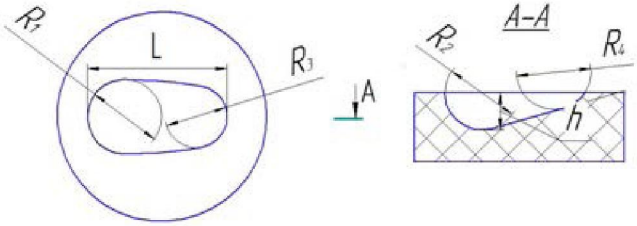


Рис.2. Схемы исследованных образцов

Таблица 1

№ вые мки	S, мм^2	P, мм	R1, мм	R2, мм	R3, мм	R4, мм	Угол β, град	$d_г$	h, мм	L, мм	$h/d_г$
1	1618	154	16	16	13,5	16	16	42	16	57	0,38
2	1538	150	16	16	12	16	19	41	16	57	0,39

Опыты проводились в прямоугольном канале 100×120 мм. Опытный участок имел длину1000мм. Центробежный компрессор работал на нагнетание.

На нижней стенке опытного участка установлен объект исследования - модель диффузорной выемки отрывного типа в поворотном цилиндрическом корпусе диаметром 80 мм.

Эксперименты проводились при числе Рейнольдса $Re_d = \frac{w\rho d_г}{\mu} = 2{,}7\cdot 10^4$. В качестве характерного линейного размера для числа Рейнольдса был использован гидравлический диаметр выемки в плане $d_г = \frac{4F}{П}$

Коэффициент давления C_p рассчитывался по формуле:

$$C_p = \frac{2(p_i - p_0)}{\rho_0 w_0^2}$$

где p_i и p_0 - статическое давление в i-й точке поверхности выемки и перед выемкой; ρ_0 и w_0 – плотность и скорость внешнего потока.

Продольное распределение коэффициента давления вдоль донной поверхности двух образцов диффузорной выемки отрывного типа показаны на рис.3.

Продольное распределение коэффициента давления C_p в донной части (вдоль продольной плоскости симметрии) двух исследованных моделей выемок с углом установки $\beta = 0$ показано на рис.3. Как следует из этого рисунка, качественно наши данные имеют практически такой же характер распределения C_p, как и в работе [5], где показано изменении C_p в продольном направлении при обтекании сферической выемки отрывного типа с относительной глубиной $h/d = 0{,}26$ и при числе Рейнольдса $Re_d = 5{,}9 \times 10^4$.

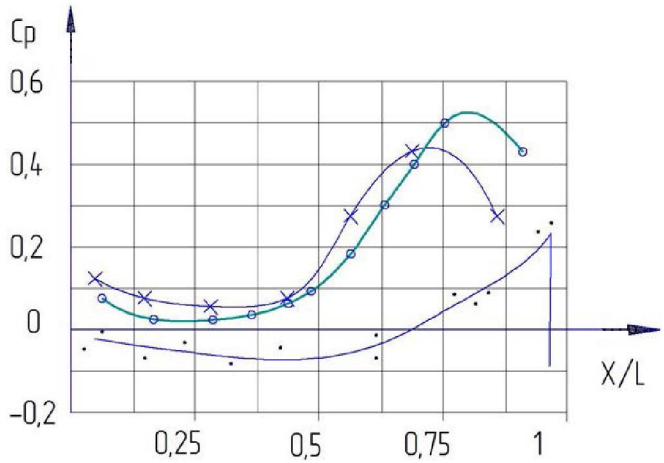


Рис. 3. Изменение коэффициента давления C_p в диффузорных выемках в продольной плоскости их симметрии; × - образец №1; ○ - образец №2; нижняя линия – данные [5] для сферической выемки с относительной глубиной $h/d = 0{,}26$

Как следует из рис. 3, при обтекании ДВОТ турбулентным потоком за угловой точкой входной кромки на участке $0<x/L<0{,}2\ldots0{,}3$ возникает его отрыв с образованием области рециркуля-

ционного течения. Повышенное статическое давление в области <x/L = 0,7…0,8 связано с присоединением основного потока к донной части выемки.

Для разработки обоснованных рекомендаций по выбору формы диффузорных выемок отрывного типа требуется проведения дальнейших исследований.

Список литературы

1. Гортышов Ю.Ф., Попов И.А., Щелчков А.В., Рыжков Д.В. Теплогидравлические характеристики теплообменных аппаратов с поверхностной интенсификацией теплообмена в виде сферических выемок и выступов // Тепловые процессы в технике. 2009.- №3.- т.1.С. 102-108.

2. Щукин А.В. Ильинков А.В., Такмовцев В.В., Хабибуллин И.И. Особенности тепло- и массообмена в сферических выемках при различных внешних воздействиях // Теплоэнергетика. – 2017. - №6, с. 62-71.

3. Isaev S.A., Leontiev A.I., Baranov P.A., Popov I.A., Shchelchkov A.V.,Gabdrakhmanov I.P Numerical simulation of the intensification of the heat exchange in a plane-parallel channel with a cylindrical shallow dimple on the heated //J. Engineering Physics and Thermophysics.. 2016. Vol. 89. №. 5. Pp. 1186-1201.

4. C. NeilJordan, LesleyM. Wright. Heattransferenhancementinarectangular (ar = 3:1) channelwithV-shapeddimples. Proceedings of ASME Turbo Expo 2011. GT2011, June 6-10, 2011,Vancouver, British Columbia,Canada,12 p.

5. Терехов В.И., Калинина С.В., Мшвидобадзе Ю.М. Поледавленийисопротивлениеодиночнойлункисострымиискругленнымикромками // ПМТФ. – 1993. №3. – С.40.

FEATURES OF THE FLOW PAST THE DIFFUSER DIMPLES SEPARATED TYPE

Girfanov A., Khabibullin I., Zaripov I.

Supervisor: A. Shchukin, Doctor of Technical Sciences, Professor,

A. Ilinkov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The report provides experimental data on the distribution of the pressure coefficient in two samples of the diffuser dimples separated type along the bottom of the line of symmetry of the notches.

УДК 662.48

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ

Дурдымурадов А.Б.
Научный руководитель: С.С. Самохина, к.п.н., доцент
(Ульяновский институт гражданской авиации имени главного маршала авиации Б.П. Бугаева, г. Ульяновск)

Проведено исследование деградации физико-химических свойств топлив, которые влияют на эксплуатационные свойства авиационных двигателей.

При хранении топлив происходит изменение их физико-химических свойств, связанное с процессами окисления, испарения, попадания механических примесей. Состав топлива влияет на характер работы двигателей (ракетных, авиационных, автомобильных). Поэтому актуальным является исследование деградации топлив при их хранении в различных условиях.

Цель исследования – выявить, как влияют на физико-химические свойства топлив, при длительном хранении, внешние условия.

Объектом исследования выступили физико-химические свойства авиационного топлива ТС-1, дизельного топлива ДТ различных производителей, бензина марки АИ 95 различных производителей. Авиационные бензины применяются в поршневых двигателях внутреннего сгорания. В турбовинтовых и турбореактивных двигателях авиационный керосин является топливом, хладагентом и используется для смазки деталей топливных систем [1].

Пробы всех видов топлива помещались в идентичную тару (стеклянную и пластмассовую с различной степенью пропускания света). Пробы хранились в разных климатических условиях (при прямом воздействии солнечного света, в защищенных от света емкостях, при низких, высоких и комнатных температурах). Время хранения варьировалось от 1 до 5 лет, то есть соответствовало нормативным срокам хранения. Периодически осуществлялись

контрольные измерения параметров топлив.

Зафиксирован различный уровень статического испарения всех видов топлив (выявлены различия среди производителей). При хранении изменялись вязкость и плотность жидкостей, цвет и прозрачность. На дне емкостей зафиксировано выпадение твердых осадков или смол. После полного испарения топлива выявлено наличие примесей и несгораемых осадков. Пластмассовые емкости из-за взаимодействия с топливом оказались непригодными для дальнейшей эксплуатации.

Таким образом, длительный эксперимент подтвердил, что деградация топлив сильно зависит от условий и времени хранения топлив. Физико-химические свойства керосинов и бензинов определяют эксплуатационные свойства двигателей, используемых в авиационной и автомобильной технике и влияют на главный показатель эффективности авиационной техники- безопасность полетов.

Список литературы

1. Дубовкин Н.Ф., Яновский Л.С., Харин А.А. и др. Топлива для воздушно-реактивных двигателей. – М.: МАТИ, 2001. – 443 С.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEGRADATION OF AVIATION FUELS

Durdymuradov A.
Supervisor: S. Samokhina, PhD (Pedag.), Associate Professor,
(Ulyanovsk Institute of Civil Aviation, Ulyanovsk)

The results of the research of fuel degradation is presented in this article. Physico-chemical properties of fuels determine the efficiency of aircraft engines.

УДК 53

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Епифанова А.С., Кандакова Е.А.
Научный руководитель: А.М. Царева, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Данная статья расскажет о том, что такое теплоэнергетика и чем она занимается. Также рассмотрены основные проблемы энергетических ресурсов.

Теплотехника и теплоэнергетика

Теплотехника – это отрасль техники, занимающаяся использованием и получением теплоты в разных сферах, таких как: транспорт, промышленность, сельское хозяйство и быт. А в свою очередь, теплоэнергетика-отрасль теплотехники. Теплоэнергетика занимается преобразованием теплоты в другие виды энергии. Поэтому поговорим более подробно о носителях энергии.

Энергетические ресурсы, виды

Энергетические ресурсы являются основой энергетического хозяйства общества. Энергетический ресурсы – это носители энергии, которые в настоящее время могут быть использованы. Они делятся на первичные и вторичные энергоресурсы. Первичными энергоресурсами являются те ресурсы, которые не подвергались какой-либо переработке. Энергия солнца, природное топливо, энергия воды, ветер, нефть, газ, уголь, гидроэнергия малых рек, энергия морских течений, волн, приливов, температурный градиент, морская вода, воздух, биомасса животного, растительного и бытового происхождения, водородная энергетика – всё это относится к первичным ресурсам. Около 40 % первичных энергетических ресурсов используется для производства электроэнергии.

Вторичными же энергетическими ресурсами (ВЭР) называются топливно-энергетические ресурсы, полученные как отходы, выбросы и сбросы производственного технологического процесса.

Вторичные энергетические ресурсы подразделяют на горючие, тепловые, избыточное давление.

* Горючими называют ресурсы, образующиеся в процессе производства основной продукции. Они могут быть использованы в качестве топлива, так как обладают химической энергией.

* Физическая теплота отходящих газов, как основной, так и вторичной продукции производства, нагретых металлов, горячей воды и пара, которые отработаны в технологических установках, системах охлаждения называют тепловыми энергоресурсами.

* Избыточное давление – это потенциальная энергия уходящего из установки газа, воды, пара, имеющих повышенное давление, которое можно применить перед выбросом в окружающую среду. С помощью утилизации таких ВЭР получают электрическую или механическую энергию.

Также энергетические ресурсы бывают: исчерпаемые и неисчерпаемые. К исчерпаемым относятся невозобновляемые и возобновляемые ресурсы. Невозобновляемыми ресурсами являются все полезные ископаемые недр земной коры, которые в процессе эксплуатации вырабатываются и истощаются. Их запасы ограничены и их нужно использовать экономно. Исчерпаемыми возобновляемыми ресурсами называют растительность, животный мир, почву, постоянно обновляющиеся в процессе их использования. Но следует отметить, что время их обновления различно, например, чтобы восстановить почву, нарушенную в ходе хозяйственной деятельности, потребуется сотни лет. И поэтому, чрезмерное использование может привести к тому, что даже возобновимые ресурсы могут стать невозобновимыми. Хорошим примером является Испания. Леса, вырубленные в Испании, так и не восстановились. На сегодняшний день страна является полупустынной.

Ресурсы, которые в течение сотен миллионов лет не могут быть выработаны называются неисчерпаемыми. Они также делятся на несколько групп:

* Космическая. К ней относится солнечная радиация, притяжение Луны и Солнца

* Климатическая – это воздух, ветер и т.п.

* Водные

Энергоресурсы Земли подразделяются на невозобновляемые и возобновляемые. Уголь, нефть, горючие сланцы, природный газ, торф и ядерное топливо – эти горючие ископаемые относятся к невозобновляемым энергетическим ресурсам. Возобновляемые: солнечная радиация, энергия ветра, геотермальная энергия, энергия морских приливных-отливных волн.

Проблема энергетических ресурсов

В наше время, когда человек использует различные виды энергии практически 24 часа в сутки, встает вопрос о том, а надолго ли нам хватит этих самых энергетических ресурсов? Ведь запасы природного газа, нефти, угля и тому подобное не бесконечны и рано или поздно закончатся.

Сейчас ископаемые виды топлива все еще доминируют над другими. На сегодняшний день разведанные запасы каменного угля оцениваются в 1280 млрд тонн, чего хватит еще примерно на 200 лет; запасы нефти – в 137 млрд тонн, газа – 187 трлн $м^3$. Причем при современном уровне добычи нефти и газа этого количества нам хватит только до 2050 года, что, в принципе, уже в недалеком будущем.

Все это было о первичных энергетических ресурсах. А с вторичными энергоресурсами возникает такая проблема, как нерациональное использование. Ведь эти потери от использования первичных ресурсов не только выбрасываются в никуда, но и негативно влияют на окружающую среду (загрязняют воздух, негативно влияют на климат, Так, например, на нефтеперерабатывающих заводах в процессе тепловой переработки затрачивается до 12 % нефти, теплота, полученная от сжигания которой рассеивается в атмосфере, то есть теряется безвозвратно. Также велики тепловые потери и на газокомпрессорных станциях магистральных газопроводов.

Пути решения проблем энергетических ресурсов

Если возникают проблемы, то необходимо искать пути их решения.

Первую проблему, касающуюся первичных энергоресурсов, можно попробовать решить сокращением их использования. Например, использовать альтернативные источники энергии, такие как ветер, солнце, вода (течение воды) и тому подобное. Помимо

основной своей функции (сокращение использования первичных источников энергии), альтернативные источники являются более экологичными. Также можно попробовать сократить потребление энергии, и тем самым сократить

использование энергоресурсов, внедрение различных энергосберегающих технологий.

Но несмотря на все эти способы решения этой проблемы, на наш взгляд наиболее эффективным будет вариант, при котором обе эти проблемы будут решаться одновременно, то есть если мы решим вопрос о нерациональном использовании вторичных энергетических ресурсов, то вопрос о нехватке первичных тоже может быть решен. А для этого нам необходимо разобраться, как же можно использовать вторичные энергетические ресурсы. Но, к сожалению, в настоящее время пути решения этой проблемы только разрабатываются. И мы надеемся, что в недалеком будущем ученые разберутся с этим вопросом.

Вывод

В нашем мире одними из самых актуальных проблем являются проблемы теплоэнергетики, так как энергия необходимо каждому и каждый день. Но на нашей планете запасы природных ископаемых ресурсов практически закончились, и возникает необходимость сокращения их использования, а в идеальном случае полный отказ от них. И самым лучшим решением этой проблемы может стать рациональное использование вторичных энергетических ресурсов, таких как отходы, различные выбросы от переработки первичных энергоресурсов. Ведь использование вторичных источников топлива не только значительно сократит потребление первичных, но и положительно отразится на экономике страны.

Список литературы

1. Салихов А.А. Актуальные проблемы современной теплоэнергетики.
2. http://human_ecology.academic.ru
3. http://dic.academic.ru

THE THERMAL POWER ENGINEERING AND THE PROBLEMS OF ENERGY RESOURCES

Epifanova A., Kandakova E.
Supervisor: A. Tsareva
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

This article will tell what thermal power engineering is and what it does. As well, main problems of energy resources have been considered.

УДК 621.311.22

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Закиров Т.Р., Закиров Р.Р.
Научный руководитель: А.М. Царева, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Энергетика играет очень большую роль в нашей жизни, и мы не можем уже сейчас представить себя без нее. Россия – страна с одной из самых развитых энергетических сфер, и особенно развита у нее теплоэнергетика, имеющая большие перспективы. Однако не все так радужно, ибо присутствует и целый ряд проблем, которые нуждаются в решении. Именно эти проблемы, а также о пути их решения и перспективы теплоэнергетики мы постараемся разобрать.

Начнем с того, что большая часть электроэнергии в России вырабатывается в сфере теплоэнергетики – в основном на ТЭС – тепловых электростанциях. ТЭС – это электростанция, генерирующая электрическую энергию путем преобразования химической энергии топлива в процессе сжигания в тепловую, а затем в механическую энергию вала электрогенератора. Более половины энергии в России вырабатывается за счет сжигания газа и угля, причем около 45 % – за счет газа. Частично это из-за того, что в нашей стране находится около 20 % от мировых запасов природного газа и приблизительно четверть всего угля в мире.

1) Состояние российской теплоэнергетики и ее проблемы.

На данный момент у российской энергетики присутствуют следующие проблемы:

1. Износ фондов
2. Кадровый вопрос
3. Тепло- и ресурсосбережение

1.1. Износ фондов

Основные составляющие и «производные» износа фондов в тепловой энергетике:

– устаревшее оборудование выработки тепла, транспорти-

ровки и потребления;

– морально устаревшее и изношенное оборудование ТЭС и котельных, которое является причиной низкого КПД во время их работы и увеличивающееся число отказов с соответствующими негативными последствиями;

– огромное количество аварий и утечек, конструкция теплопроводов устарела, из-за чего возникают большие тепловые потери.

1.2. Кадровый вопрос

Кадровая проблема в теплоэнергетике на данный момент одна из самых важных, и она схожа с электроэнергетикой. С одной стороны – дефицит кадров и новых специалистов, а с другой – перекос в сторону от «специалистов» к «менеджерам», от профессиональных энергетиков к «управленцам». Это значит, что в энергетической сфере катастрофически не хватает обученных специалистов и присутствует избыток людей, абсолютно не разбирающихся в данной тематике и не владеющих нужными для работы в теплоэнергетической сфере навыками.

1.3. Тепло-и ресурсосбережение

До сих пор нерешенный вопрос экономии тепла и энергоресурсов, необходимых для его производства, затрагивает и другие явления, отрицательно сказывающиеся и на отрасли, и на потребителях.

Нынешней российской действительности в значительной мере характерно отсутствие стимула беречь ресурсы, в том числе тепло и электричество, внедрять энергосберегающие технологии и оборудование. Это вызвано как невысокими внутренними ценами на энергоресурсы, так и большой стоимостью внедрения энергосберегающих технологий. В таких условиях само энергосбережение теряет смысл. Нельзя забывать, что все ресурсы, которые используют ТЭС, являются невозобновляемыми. Сроки окупаемости реализации энергосберегающих и энергоэффективных технологий в нашей стране в несколько раз выше, чем в ЕС.

На сегодняшний день недостаточное нормативно-правовое обеспечение тепловой энергетики порождает следующие проблемные зоны:

1) Когенерация.

2) Безопасность теплоснабжения.

2.1. Когенерация

Когенерация – процесс совместного вырабатывания электрической и тепловой энергии, который неоднозначно рассматривается в профессиональной среде и вызывает разные точки зрения на тему ее перспектив и эффективности. В советской литературе распространён термин теплофикация – централизованное теплоснабжение на базе комбинированного производства электроэнергии и тепла низкого и среднего потенциалов на теплоэлектроцентралях. Казалось бы, очевидно, что выработка тепловыми компаниями электроэнергии в дополнение к тепловой выгодна, особенно в районах с дефицитом электроэнергии, где электростанции не могут обеспечить увеличивающиеся запросы на энергопотребление. Однако есть огромное количество нерешенных вопросов на местах: почти не решаются вопросы синхронизации мини-ТЭЦ с централизованными сетями, покупки временных излишков энергии в централизованную сеть. Объективно покупка излишков в периоды спада нагрузок экономически не выгодна централизованным сетям. Кроме того, когенерация экономически не выгодна для производства электроэнергии в больших объемах для большого количества потребителей.

Мини ТЭЦ (ТЭС) – это энергетическая система, предназначенная для комбинированной выработки тепла и электричества. Созданная на основе поршнего двигателя внутреннего сгорания, работающая на природном газе и вырабатывающая одновременно тепловую и электрическую энергию.

В качестве топлива обычно используется природный газ, факельный газ и др.

Мини-ТЭЦ используются для комбинированного производства электроэнергии переменного тока и тепловой энергии в виде горячей воды или пара.

Использование мини-ТЭЦ дает возможность потребителю перестать зависеть от перебоев электроэнергии либо ее нехватки, в то же время получая автономное теплообеспечение.

Мини-ТЭЦ может находиться как внутри здания, так и сна-

ружи, поэтому оно имеет разные варианты исполнения: базовое, открытое, в кожухе или в контейнере.

Приблизительная мощность ТЭЦ варьируется от 20 кВТ до 3 МВт.

Мини ТЭЦ отличается от обычных ТЭС своим экономичным использованием топлива для производных видов энергии в сравнении с общепринятыми раздельными способами их производства. Это связано с тем, что электроэнергия в масштабах страны производится в основном в конденсационных циклах ТЭС и АЭС, имеющих электрический КПД на уровне 30–35 % при отсутствии теплового потребителя.

Еще одним преимуществом мини-ТЭЦ является близкое расположение к потребителям, также практически полное отсутствие проблем с теплосетями.

Из всего этого мы видим, что мини-ТЭЦ более выгодны, чем стандартные ТЭЦ, и технологии мини-ТЭЦ должны и далее развиваться.

2.2. Безопасность теплоснабжения

На данный момент уровень безопасности в теплоэнергетике довольно таки низкий: оснащение изношено, нет степеней защиты и автоматизации, часто в системе отсутствует резервирование. У тепловых компаний отсутствуют средства для самостоятельной ликвидации аварий и проведения комплексной реконструкции. Самыми большими проблемами безопасности теплоснабжения в теплоэнергетике являются: нехватка финансовых средств, и законодательное регулирование. Проблемы технологического уровня незначительны, современное развитие техники позволяет создавать действенные и безопасные системы теплоснабжения.

3. Атомная энергетика

Атомная энергетика является неотъемлемой частью Российской энергетики, тем более она вырабатывает приблизительно 17 % от общей электроэнергии. Однако все-таки она не так сильно развита из-за произошедшей катастрофы на Чернобыльской АЭС, сильно потрясшей ныне не существующий СССР и весь мир в целом.

На сегодняшний день планируется повышение производства

энергии на АЭС. Известно, что выработка атомной энергии более затратная, чем получение энергии на тепловых или гидравлических станциях, но применение АЭС во многих определенных ситуациях незаменимо и экономически выгодно. Огромное преимущество для развития атомной энергетики в нашей стране создают недавно принятые американо-российские соглашения, по которым начнется эксплуатация огромного количества оружейного плутония, употребление которого в мирных целях возможно лишь на АЭС. Именно благодаря этим соглашениям традиционно считавшаяся дорогой электроэнергия, получаемая от АЭС, может стать примерно в два раза дешевле электроэнергии ТЭС.

4. Экологическая ситуация

Кроме того большой проблемой в производстве является загрязнение окружающей среды.

Особое внимание в развитии энергетики России уделяется экологическим проблемам. Быстрое развитие производства и интенсивное наращивание энергий привело к тому что, загрязнение окружающей среды длительное время практически не замечалось. Самое большое загрязнение в окружающую среду дает угольная ТЭС. Использовать газ в ТЭС гораздо действеннее, чем использовать мазут или уголь. Была создана государственная программа "Экологически чистая энергетика". С учетом условий этой программы было разработано несколько проектов, многие их которых находятся в стадии разработки. В соответствии с данными проектами будут построены экологически чистые электростанции, и они будут переведены на более чистое топливо – природный газ.

Также Россия должна отказаться от возведения крупных тепловых и гидравлических станций, которые требуют гигантских инвестиций. Предполагается постройка ТЭЦ малой и средней мощностей и малых ГЭС в удаленных северных и восточных регионах нашей страны.

Вывод:

Подведя итоги всему вышесказанному можно сказать, что на данный момент российская теплоэнергетика находится в непростом состоянии. Основная часть производственных мощностей устарела и нуждается в замене, вырабатывание мощностей втрое

превышает ввод новых. Необходимо увеличение постройки новых мини-ТЭЦ, решение проблемы с кадрами, уменьшение потерь энергии при транспортировке, а также основной задачей российской электроэнергетики являются правильное и целесообразное использование ресурсов уже имеющихся предприятий этой отрасли.

Список литературы

1. Шипова Е.А. журнал «Энергонадзор и энергобезопасность» № 1, 2007, «Перспективы развития теплоэнергетики в России».

2. Понамарчук Е.С. «Современное и перспективы развития теплоэнергетики», 10.10.2006.

3. Большая Советская Энциклопедия, 2002 – Теплофикация.

PROBLEMS AND PERSPECTIVES OF THERMAL POWER ENGINEERING

Zakirov T., Zakirov R.
Supervisor: A. Tsareva, associate professor, candidate of Technical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Energy plays a very big role in our life, and we can not now imagine ourselves without it. Russia is a country with one of the most developed energy spheres, and it has a particularly strong thermal power industry, which has great perspectives. However, not everything is so good, because there are some problems that need to be solved. These problems and the ways to solve them and the perspectives of thermal power engineering we will try to examine.

УДК 658.264:621.184.76

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИНЕРАЛОВАТНОЙ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Закирова И.А.
Научный руководитель: Н.Д. Чичирова, д.х.н., профессор
(Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

Рассмотрены вопросы повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения. Показаны пути улучшения качества применяемых теплоизоляционных покрытий для достижения повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения. Представлены результаты влияния тонкопленочного покрытия в конструкции тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей на снижение потерь тепла за счет уменьшения плотности тепловых потоков.

В последнее время на государственном уровне значительное внимание уделяется вопросам рационального использования энергоресурсов и повышения энергоэффективности [1].

В соответствии с тем, что вопросы энергосбережения, на сегодняшний день, приобрели масштабный характер, основными направлениями государственного контроля и регулирования является учет энергоносителей, величина их потребления и условия транспортировки [2].

Основной проблемой энергосбережения в системах теплоснабжения является оптимизация потребления энергоресурсов. В частности, для повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения, где потери тепловой энергии с поверхности изолированных трубопроводов составляют значительную долю, важно улучшить качество применяемых теплоизоляционных конструкций, что позволит снизить теплопотери.

В результате длительной эксплуатации тепловых сетей и при воздействии на них внешних факторов, происходит частичное или

полное разрушение и деформация волокнистой тепловой изоляции трубопроводов. Это приводит к изменению структуры изоляционного материала, за счет увеличения количества сквозных пор и их размеров, способствуя появлению трещин и других дефектов [3].

На данный момент, минераловатные теплоизоляционные изделия с покровным слоем, выполняющего функции защитного покрытия, из стеклопластика или стеклоткани, являются наиболее распространенными и применяются в качестве тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей, а также в тепловых камерах после реконструкции и капитального ремонта. В связи с этим разработка новых и модернизация существующих конструкций теплоизоляции является актуальной задачей.

Одним из способов повышения эффективности существующей тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей, состоящей из минеральной ваты в качестве основного слоя и стеклопластика, в качестве покровного, является нанесение тонкопленочного покрытия на ее поверхность. Это приводит к снижению плотности тепловых потоков и как следствие, ведет к сокращению потерь тепловой энергии.

В таком виде теплоизоляционной конструкции передача теплоты является сложным процессом, включающим перенос тепла кондуктивной теплопроводностью, излучением и конвекцией.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований, где оценена каждая составляющая процесса передачи теплоты и определена степень влияния на общий процесс снижения плотности тепловых потоков теплоизоляционной конструкции с нанесенным тонкопленочным покрытием.

Экспериментально определены такие показатели как коэффициент теплопроводности, интегральный коэффициент излучения и воздухопроницаемость теплоизоляционной конструкции, состоящей из минеральной ваты, стеклопластика и тонкопленочного покрытия [4,5].

Для исследования величины теплопроводности данной конструкции была выбрана методика стационарного теплового потока проходящего через исследуемый образец.

Определение интегрального коэффициента излучения проводилось радиационным методом, который состоит в сравнительном измерении специальным термоприемником лучистой энергии, испускаемым исследуемой теплоизоляционной конструкцией с нанесенным тонкопленочным покрытием и коэффициента излучения покровного слоя традиционной тепловой изоляцией тепловой сети, в качестве которого использован стеклопластик.

В основе метода определения воздухопроницаемости лежит установление времени прохождения определенного объема воздуха через исследуемый образец при известном давлении воздуха.

Установлено, что наибольшее влияние на снижение плотности тепловых потоков оказывает воздухопроницаемость теплоизоляционного материала после нанесения на его поверхность тонкопленочного покрытия.

Список литературы

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ".

2. Федеральный закон от 27 июля 2010 г. N 190-ФЗ (редакция от 18 июля 2011 г., с изменениями от 07 декабря 2011 г.) "О теплоснабжении".

3. Кузнецов В.Г., Озерова И.П., Половников В.Ю., Цыганкова Ю.С. Оценка фактических потерь при транспортировке теплоносителя с учетом технического состояния и реальных условий эксплуатации тепловых сетей // Известия томского политехнического университета –2011. –Т.319 –№4. –С.56-60.

4. Закирова И.А., Чичирова Н.Д. Совершенствование тепловой изоляции тепловых сетей с применением тонкопленочных покрытий // Труды Академэнерго – 2016. - №3. – с. 43-57.

5. Закирова И.А., Чичирова Н.Д. Экспериментальное определение эффективности тепловой изоляции тепловых сетей с применением тонкопленочных покрытий // Надежность и безопасность энергетики – 2017. – Т.10 - №2 – с. 71-80.

IMPROVING THE STANDART MINERAL INSOLATION FOR HEATING PIPE SYSTEMS BY THIN-FILM COVERS USING

Zakirova I.
Scientific adviser: N. Chichirova, Doctor of Sc., Full Professor
(*Kazan state power engineering university, Kazan*)

The problems of improving of heat supply systems energy efficiency were considered. The ways of improving of thermal insulation quality to achieve of heat supply systems energy efficiency increase were investigated. There were obtained the results of the thin-film coverings effect in the construction of the thermal insulation of heating networks pipelines to reduce heat loss by reducing of heat flows density.

УДК 536.24

ТЕПЛООТДАЧА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ОХЛАЖДЕНИИ ВХОДНОЙ КРОМКИ ТУРБИННОЙ ЛОПАТКИ

Зарипов Е.Д., Иванов С.Н., Ерзиков А.М.
Научные руководители: А.В. Ильинков, к.т.н.,
В.В. Такмовцев, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Экспериментально установлено влияние выступов, выполненных на входной кромке лопатки турбины ГТД в области лобовой точки, на теплоотдачу. Получено, что теплоотдача возрастает до двух раз при относительной плотности расположения выступов $f = 0{,}485$.

Опыт разработки систем охлаждения турбинных лопаток высокотемпературных ГТД показывает, что наибольшие трудности в обеспечении эффективного охлаждения лопатки возникают на участке входной кромки, где стесненные условия внутренней полости не позволяют успешно применять некоторые хорошо зарекомендовавшие себя способы интенсификации теплообмена.

Увеличить эффективность охлаждения поверхности можно использованием импактных воздушных струй. Однако на входной кромке соплового аппарата турбины высокого давления располагаемый перепад давления невелик. Для повышения эффективности струйного охлаждения входной кромки на охлаждаемой струями поверхности можно разместить матрицу сферических выступов или выемок.

Для интенсификации теплообмена на входной кромке профиля турбинной лопатки широко используют струйно-дефлекторный способ охлаждения, в котором дефлектор может быть выполнен литьем, за одно целое с профилем лопатки.

Представлены результаты исследования комбинированной интенсификации теплоотдачи при струйно-дефлекторном охлаждении поверхности лопатки ГТД с полусферическими выступами.

Опытная установка для исследования теплоотдачи при струйном натекании на участок поверхности входной кромки с полусферическими выступами включала в себя короб длиной 1000 мм, шириной 400 мм и высотой 150 мм. На нижней криволинейной стенке с радиусом кривизны 350 мм, устанавливались модели полусферических выступов. Одна из моделей – теплообменная показана на рис.1.

Рис. 1. Общий вид теплообменной модели полусферического выступа

В этой модели размещался нагреватель, установленный в матрице выступов в области передней лобовой точки профиля лопатки. Относительная плотность расположения выступов $f = 0{,}85$.

В экспериментах использовалась модель дефлектора турбинной лопатки. В нем был выполнен один ряд отверстий диаметром $d = 35$ мм с относительным шагом $t/d = 1{,}14$. Высота H охлаждающего канала изменялась путем варьирования диаметром барабанов, имитирующих дефлектор на входной кромке лопаток. В результате для относительной плотности расположения выступов $f = 0{,}485$ диапазон изменения относительной высоты охлаждающего канала составлял $H/d = 1{,}66...5{,}31$, а для $f = 0{,}85$ значение $H/d = 1{,}60...5{,}09$.

Теплообменная модель полусферического выступа (рис. 1) снабжена 62-мя термопарами, расположенными по меридиональным сечениям. Информация с термопар поступала в компьютер. Тепловой поток определялся градиентным методом расчетом тем-

пературного поля модели выступа. Числа Рейнольдса в опытах составляли $Re_н = (3...40)\cdot 10^4$.

Для тестирования установки были использованы данные экспериментов Hwang S.D., Cho H.H.

Исследовалась теплоотдача при комбинированном конвективном охлаждении в области лобовой точки входной кромки турбинной лопатки со стороны дефлектора. Результаты исследования теплоотдачи в области лобовой точки («нулевой» ряд выступов) модели входной кромки представлены на рис. 2 в виде зависимости $Nu_н = f(Re_н)$ и в таблице.

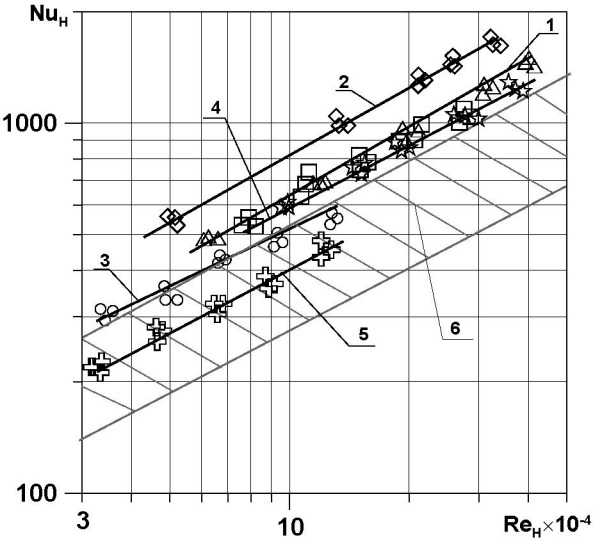


Рис. 2. Зависимость $Nu_н = f(Re_н)$

Здесь в числе Рейнольдса использована среднерасходная скорость воздуха в отверстиях дефлектора $w_д$, а характерный линейный размер - высота охлаждающего канала H между дефлектором и охлаждаемой стенкой.

Таблица 1

Результаты обработки опытных данных для области лобовой точки

$Nu_H = ARe_H^m$							
$f = 0{,}485$				$f = 0{,}85$			
№ линии	H/d	A	m	№ линии	H/d	A	m
1	5,31	0,453	0,63	4	5,09 3,71	0,564	0,57
2	3,91	1,01	0,58				
3	1,66	1,63	0,5	5	1,60	0,933	0,56

Как видно из рис. 2, показатель степени при числе Рейнольдса в зависимости $Nu = ARe^m$, при струйном натекании воздуха на выступы в лобовой точке, находится в диапазоне m = 0,5…0,65. Полученные данные соответствуют результатам исследований Е.П.Дыбана, А.И. Мазура [1] по теплоотдаче в области лобовой точки осесимметричной импактной струи, натекающей на плоскую поверхность (m = 0,45…0,7).

Если учесть влияние площади обтекаемой поверхности, то теплоотдача в области лобовой точки при $f = 0{,}85$ увеличивается по сравнению со струйным обдувом гладкой поверхности входной кромки в 1,1...1,7 раза. При относительной плотности расположения выступов f=0,485 теплоотдача возрастает до двух раз.

Список литературы

1. Гортышов Ю.Ф. Теплогидравлическая эффективность перспективных способов интенсификации теплоотдачи в каналах теплообменного оборудования. Интенсификация теплообмена: монография/ Ю.Ф. Гортышов, И.А. Попов, В.В. Олимпиев, А.В. Щелчков, С.И. Каськов; под общ. ред. Ю.Ф.Гортышова. – Казань: Центр инновационных технологий, 2009. – 531с.

2. Дыбан Е.П. Конвективный теплообмен при струйном обтекании тел/ Е.П. Дыбан, А.И. Мазур. – Киев: Наукова думка, 1982. – 303 с.

3. Нагога Г.П. Эффективные способы охлаждения лопаток высокотемпературных газовых турбин: учебное пособие – М.: Изд-во МАИ, 1996. – 100 с.

HEAT TRANSFER AT COMBINED COOLING OF LEADING EDGE OF TURBINE BLADE

Zaripov E., Ivanov S., Erzikov A.
Research supervisor: A. Il'inkov, Cand. Tech. Sc., assoc. prof.,
V. Takmovtsev, Cand. Tech. Sc., assoc. prof.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The influence of the protrusions made on the leading edge of the GTE turbine blade in the area of the stagnation point on the heat transfer is experimentally established. It is obtained that the heat transfer increases up to two times at the relative density of protrusions position $f = 0{,}485$.

УДК 629.735.33.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ГАЗООБРАЗНОМ МЕТАНЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ И ЭНЕРГОУСТАНОВОК НАЗЕМНОГО, ВОЗДУШНОГО, АЭРОКОСМИЧЕСКОГО И КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

Коханова Ю.С., Куимов Е.С.
Научный руководитель: В.А. Алтунин, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Приводится краткая история перевода техники на газообразное топливо. Показаны результаты экспериментальных исследований при естественной и вынужденной конвекции газообразного метана без влияния и с влиянием магнитных и электростатических полей.

Ещё К.Э. Циолковский в своих трудах обращал внимание на возможность применения различных топлив для космических ракет, в том числе - и жидких углеводородных горючих (УВГ), а также – «болотного газа», т.е. природного газообразного метана [1]. Известно, что запасов нефти в нашей стране осталось на 50 лет, а природного газа – на 200 лет. Именно поэтому Правительством РФ было принято решение (до 2025 года) о постепенном переводе двигателей и энергоустановок наземного, воздушного, аэрокосмического и космического базирования на газообразные УВГ и охладители (УВО) [2–8].

Более 10 лет в Республике Татарстан (РТ) реализуется пилотный проект по переводу дизельных базовых автомобильных и вспомогательных поршневых двигателей («КамАЗ») и судовых (река – море) поршневых и газотурбинных (ГТД) двигателей на газообразное топливо. Авиационные ГТД марки «НК» (НК-16СТ, НК-18СТ и др.) уже давно переведены на газообразное топливо и широко применяются ГАЗПРОМОМ на станциях газоперекачки [9].

В наши дни создаются новые проекты самолётов, вертолётов

и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с двигателями на природном метане. Большую роль сыграл метан и в ракетно-космической науке и технике [9–13]. Уже много лет осуществляется совместный проект России и Индии по созданию космических ракет «Рикша», «Рикша-1» и «Рикша-2» с жидкостными ракетными двигателями (ЖРД) и ЖРД многоразового использования (ЖРДМИ) на СПГ.

РОСКОСМОС планирует начать разработку нового ракетного двигателя на природном газе в ближайшее время. Финансирование соответствующей разработки заложено в проекте Федеральной космической программы на 2016–2025 годы (ФКП).

В ЦСКБ «Прогресс» посчитали, что использование двигателей на СПГ позволит обеспечить относительно низкую стоимость пуска – в 1,5–2 раза ниже, чем на керосиновых двигателях, высокую экологичность, более высокие удельные характеристики, единый тип двигателя и топлива «СПГ + жидкий кислород», что значительно упростит наземную инфраструктуру.

В ряде других аэрокосмических КБ и НИИ РФ также проведены экспериментальные исследования на существующих, модернизированных и новых ЖРД и ЖРДМИ, в которых использовался СПГ.

Метановый двигатель упоминают применительно к полетам на Марс: считается, что марсианскую ракету есть смысл комплектовать метановым двигателем, так как метан можно синтезировать из воды и двуокиси углерода из атмосферы Марса.

Однако тепловые процессы в природном метане (в сжиженном и газообразном состояниях) исследованы и изучены не в полном объёме.

Для расширения знаний об особенностях тепловых процессов в газообразном метане были созданы экспериментальные установки и рабочие участки по естественной и вынужденной конвекции газообразного метана.

Проведённые экспериментальные исследования в условиях естественной и вынужденной конвекции газообразного метана при различных давлениях, температурах и массовых скоростях прокачки позволили получить новые результаты влияния давления и

плотности теплового потока на увеличение коэффициента теплоотдачи к газообразному метану.

Дальнейшие эксперименты были проведены при влиянии магнитных и электростатических полей. Было установлено, что:

– магнитные поля очень слабо влияют на интенсификацию теплоотдачи к газообразному метану, практически не влияют на предотвращение осадкообразования на нагреваемом рабочем участке;

– электростатические поля (Е), наоборот, оказывают значительное влияние.

Увеличение коэффициента теплоотдачи возможно: при естественной конвекции – до 180 %; при вынужденной конвекции – до 150 %.

Определены границы и зоны применимости Е в условиях естественной и вынужденной конвекции газообразного метана (области насыщения (Е), граничная массовая скорость прокачки метана, при которой (Е) уже не влияют на теплоотдачу и предотвращение осадкообразования).

На основе результатов экспериментальных исследований:

– разработаны новые методики расчёта коэффициента теплоотдачи к газообразному метану при его естественной и вынужденной конвекции;

– созданы новые способы расчёта осадкообразования в газообразном метане при его естественной и вынужденной конвекции;

– разработаны алгоритмы применения и методики расчёта электростатических полей для интенсификации теплоотдачи и предотвращения осадкообразования в условиях естественной и вынужденной конвекции газообразного метана;

– открыты возможности: смешения одновременно двух и более видов газообразных горючих, приведения их к единому новому горючему с новыми свойствами; ионизации газообразного горючего – для повышения экологического качества его сжигания;

– разработаны и запатентованы: новые способы борьбы с осадкообразованием в газообразном метане; новые конструктивные схемы форсунок, фильтров, каналов, систем охлаждения двигателей и энергоустановок различного назначения и базирования; дат-

чиков и систем контроля за тепловыми процессами.

Применение материалов доклада повысит ресурс, надёжность и безопасность отечественной перспективной отечественной техники различного назначения и базирования 21 века на СПГ.

Список литературы

1. Циолковский К.Э. Космические ракетные поезда // Избр. тр. М.: Издательство «Наука», 1962. С. 367–393.

2. Бакулин В.Н., Брещенко Е.М., Дубовкин Н.Ф., Фаворский О.Н. Газовые топлива и их компоненты. Свойства, получение, применение, экология: справочник. М: Изд-во «Издательский дом МЭИ», 2009. 614 с.

3. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства газов. Справочник: в 2 томах. М.: Изд-во «Энергоиздат», 1987. 288 с.

4. Михеев А.С. Основы сжигания газообразных топлив. М.: Изд-во «Металлургия», 1987. 234 с.

5. Андреев В.А., Борисов В.Д., Климов В.В., Малышев В.В., Орлов В.Н. Внимание: газы. Криогенное топливо для авиации. М.: Изд-во «Московский рабочий», 2001. 223 с.

6. Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М. и др. Инженерные основы авиационной химмотологии. Казань: Изд-во Казанского университета, 2005. 714 с.

7. Яновский Л.С., Харин А.А. Химмотологическое обеспечение надёжности авиационных газотурбинных двигателей: монография М.: Изд-во «ИНФРА-М», 2015. 264 с.

8. Яновский Л.С., Харин А.А., Бабкин В.И. Основы химмотологии: учебник. М. – Берлин: Изд-во «Директ-медиа», 2016. 484 с.

9. Гриценко Е.А. Состояние и перспектива развития конвертированных ГТД авиационного типа семейства «НК» для газовой промышленности и энергетики // Тез. докл. Международ. научн. конф. «Двигатели 21 века». М: Изд-во «ЦИАМ им. П.И. Баранова», 2000. Ч. 2. С. 231-234.

10.Клепиков И.А., Бахмутов А.А., Буканов В.Т. Метановые ЖРД для ракет нового поколения // Тр. 33 Чтений К.Э. Циолковского. Сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники».

(Калуга, 15-18 сентября 1998 г.). РАН. РАКЦ. ИИЕТ РАН. М.: Изд-во «Знание», 1999. С. 60–69.

11. Бахмутов А.А., Буканов В.Т., Клепиков И.А. ЖРД на метановом горючем. История, состояние и перспектива // Сб. трудов НПО «Энергомаш», 2000. № 18. 192–204.

12. Каторгин Б.И., Клепиков И.А., Чванов В.К. Новое поколение двигателей для ракет на экологическом безопасном топливе «Жидкий кислород и сжиженный природный газ (метан) // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. Спец. выпуск «Теория и практика современного ракетного двигателестроения». 2004. М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. С. 58–87.

13. Клепиков И.А. Концепция маршевого ЖРД многоразового использования на кислороде и сжиженном природном газе // Конверсия в машиностроении. 2005. № 3. С. 82–88.

RESEARCH OF THE PECULARITIES OF HEAT PROCESSES IN GASEOUS METHANE FOR CREATING ENGINES AND POWER STATIONS OF LAND AND SPACE BASING

Kokhanova Y., Kuimov E.
Supervisor: V. Altunin, doctor of engineering, professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

We describe a short history of transition of equipment to gaseous fuel. The results of experimental research under natural and imposed convection of gaseous methane with and without magnetic and electrostatic fields are demonstrated.

УДК 621.45.023;621.45.026

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ ЗА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ СТАБИЛИЗАТОРОМ ПЛАМЕНИ

Ли Цзывань, Юсеф В.М.
Научный руководитель: В.Л. Варсегов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

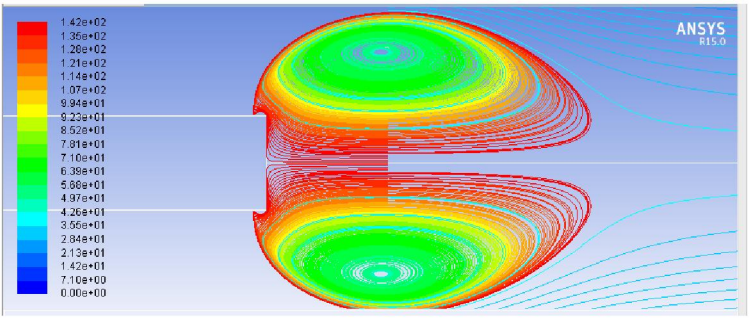
В статье рассмотрены процессы смесеобразования за газодинамическим стабилизатором пламени в программном комплексе ANSYS Fluent, и определенны коэффициенты избытка воздуха в зоне обратных токов при расчетном исследовании.

Как известно, при горении за газодинамическим стабилизатором пламени химическая реакция происходит в зоне рециркуляции. А скорость химической реакциии и полнота сгорания сильно зависят от коэффициента избытка воздуха. Поэтому, необходимо исследовать процессы смесеобразования и определить коэффициент избытка воздуха за газодинамическим экраном.

Процесс смесеобразования:

если через щель насадка подводить газообразное топливо или топливовоздушную смесь, воздух основного потока смешается с струями в зоне смешения, часть смеси продолжает течь вниз по течению вдоль границы обратных токов, остальная часть поступает в зону рециркуляции, образуются обратные токи и происходит смешение воздуха с топливом. Так и образуется равномерная топливовоздушная смесь. А сколько воздуха всасываются в зону рециркуляции и каков состав в зоне рециркуляции? Это очень важно для применения газодинамической стабилизации пламени в авиационных двигателях.

На фиг 1 представлены расчетные линий тока в зоне рециркуляции, полученные в ANSYS-Fluent.



Фиг 1. Процесс смесеобразования за газодинамическим стабилизатором

Метод определения коэффициента избытка воздуха

Обозначаем: $G_{T.O}$-массовый расход топлива, поступающем в зону циркуляции; $G_{B.O}$-массовый расход воздуха, поступающем в зону циркуляции; $G_{T.j}$-массовый расход топлива в струе, поступающем в зону циркуляции; $G_{B.j}$ -массовый расход воздуха в струе, поступающем в зону циркуляции; L_0 -стехиометрический коэффициент топлива; α_0 -коэффициент избытка воздуха основного потока; α_j -коэффициент избытка воздуха струей; $\alpha_з$ -коэффициент избытка воздуха в зоне циркуляции. m - коэффициент смешения (величина отношения расхода свежей смеси основного потока к расходу смеси струи, поступающих в зону циркуляции).

Получим

$$\alpha_0 = \frac{G_{B.O}}{L_O G_{T.O}} \quad (1)$$

$$\alpha_j = \frac{G_{B.j}}{L_O G_{T.j}} \quad (2)$$

$$\alpha_з = \frac{G_{B.j} + G_{B.O}}{L_O (G_{T.O} + G_{T.j})} \quad (3)$$

$$m = \frac{G_{B.O} + G_{T.O}}{G_{B.j} + G_{T.j}} \quad (4)$$

$$\alpha_з = \frac{\alpha_j(1+\alpha_o L_O)+m\alpha_o(1+\alpha_j L_O)}{1+\alpha_o L_O+m(1+\alpha_j L_O)} \quad (5)$$

Т.е. $\alpha_з$ зависит от α_0, α_j и m. При известных параметрах α_0 и α_j, если мы знаем m, тогда $\alpha_з$ будет известном. В прошлом веке, ученые в ЦИАМ и КАИ сделали много работ для этого, и сделали вывод что, при угле выдува β_0=const, m = const. Дальше мы будем определить m через расчетный метод в ANSYS-Fluent.

Допустим, m = const. Для определения m, выбран постановка: составы струей и основного потока чистого воздуха без горения за стабилизатором.

m можно записать следующим образом:

$$m=\frac{G_{B.O}}{G_{B.j}} \quad (6)$$

Уравнение теплового баланса в зоне циркуляции:

$$G_{B.O}\cdot T_B^* + G_{B.j}\cdot T_j^* = (G_{B.O}+G_{B.j})T_з^* \quad (7)$$

После подстановки выражений m в уравнение (7) получим

$$m\cdot T_B^* + T_j^* = (1+m)T_з^* \quad (8)$$

$$m=\frac{T_j^* - T_з^*}{T_з^* - T_B^*} \quad (9)$$

Т.е. узнаем $T_з^*$, тогда m определяется.

В данной части, сделано исследование процесса смесеобразования при угле выдува струи 90^0.

При угле выдува струи β_0= 90^0

Из формулы (9) видно что, m зависит только от разницы температур. Поэтому задаем разные температуры на входах основного потока и струи, определим температура в зоне циркуляции в ANSYS-Fluent, и тогда получим m.

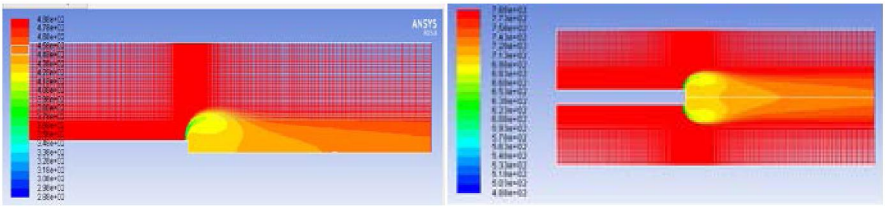
Чтобы проверить значение m постоянное или нет, сделано расчетное исследование при разных разницах температуры основного потока и струи, $\Delta_T=T_B^*-T_j^*$= 400,300,200.

Основные параметры модели и граничные условия:

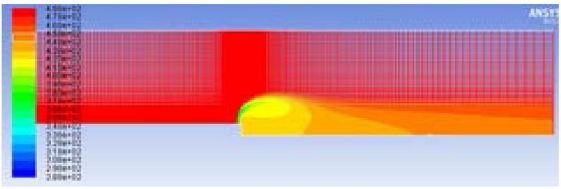
Модель прямоточной камерой сгорания представляется собой цилиндрическую трубу. Длина трубы 500мм, диаметра трубы 200мм. В центре прямоточной камеры сгорания находится маленькая труба-инжекционный насадок, через которую подвести топливовоздушная смесь. Диаметра маленькой трубы 20мм, длина 200мм. На конце насадки есть кольцевая щель для создания веерных струй. Ширина щели 1,12мм.

1.на входе основного потока:
-массовый расход: 1,38 кг/с,
-полная температура: 888k/788 К/488k;
-давление: 101235Па
- интенсивность турбулентности: I=5%,
-масштаб турбулентной: D =0,2 м
-компоненты потока: воздух %=23.2%, %=76.8%
2. на входе струй:
-массовый расход: 0.022кг/с,
-полная температура: 488 К/488k/288k;
-давление: 101235Па
- интенсивность турбулентности: I=3%,
-масштаб турбулентной: D =0,021 м
-компоненты потока: воздух %=23.2%, %=76.8%

Результаты моделирования:

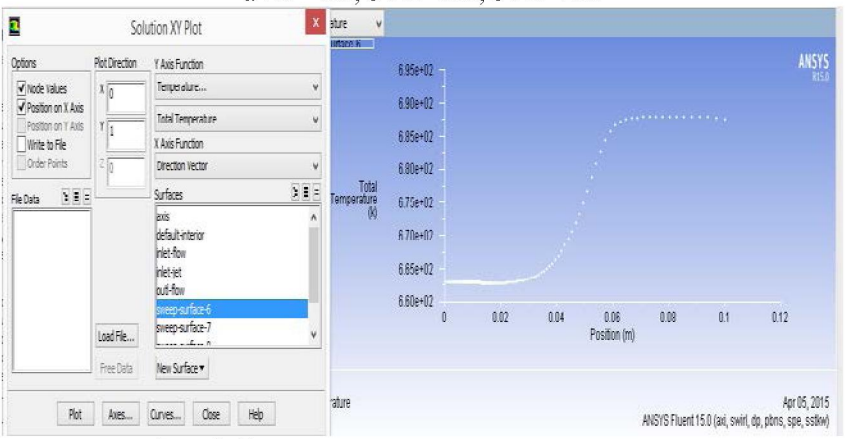


а б



с

Фиг. 2. Поля температура за газодинамический стабилизатор
a-ΔT=400; b-ΔT=300; c-ΔT=200



Фиг. 3. Распределение температуры на сечении
по оси за газодинамический стабилизатор

В фиг 2 и фиг 3 видно что, в зоне циркуляции температура примерно равномерная. Из фиг 3, мы получим температура в зоне циркуляции $T_з^*$ и температура основной потоки T_B^*. Из формулы (9), рассчитаем m.

T_B^*	**888k**	**788**	**488**
T_j^*	488k	488	288
T_B^*-T_j^*	400	300	200
m	3.21	3.545	3.44

$$\overline{m} = \frac{3.21 + 3.545 + 3.44}{3} = 3.40$$

Вывод:

Для газодинамической стабилизации, при угле выдува струй β_0=90°, коэффициент смешения m= 3.4, Благодаря этому, можно

получить коэффициент избытка воздуха в зоне циркуляции. Это очень важно для контроли горения в зоне циркуляции.

Список литературы

1. Мингазов. Б. Г. Камеры сгорания газотурбинных двигателей. Казань, 2004. 220 с.
2. Gordon C. Oates. Aerothermodynamics of Aircraft Engine Components. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1985. – 548p.
3. Талантов А. В.. Основы Теории Горения. Учебное пособие. Казань, 1975. -126 с.
4. Костерин, В. А. Расчёт камеры сгорания со стабилизаторами пламени Текст. / В. А. Костерин, Б. А. Рогожин и В. Т. Дудкин.- в межвуз. сб.: Горение в потоке. 1970. вып. 124.

CALCULATION STUDY OF THE MIXTURE FORMATION PROCESSES BEHIND THE GAS-DYNAMIC FLAME STABILIZER

Li Ziwan*; *Yousef W
Supervisor: V. Varsegov, candidate of technical sciences, docent
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

This article studies the processes of mixture formation behind the gas-dynamic flame stabilizer in the ANSYS Fluent software program, and achieved a method to calculate the air-fuel ratio in the recirculation zone according to the cumulation study.

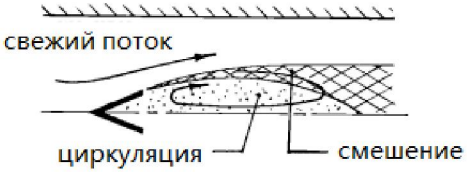
УДК 621.45.023;621.45.026

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЯ ЗА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ СТАБИЛИЗАТОРОМ ПЛАМЕНИ

Ли Цзывань, Юсеф В.М.
Научный руководитель: В.Л. Варсегов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В статье рассмотрено результаты моделирования стабилизации пламени в форсажных камерах сгорания по разных моделей турбуленнтности. По сравнении с результатом эксперимента, получено наилучшую совпадающую модель. Сделаны вывод, что моделью SST k-ω является самая точная модель турбуленнтности для расчета газодинамического стабилизатора.

В настоящим время, для стабилизации пламени в форсажных камерах, обычно применяют плохообтекаемые тела. Зона циркуляции образуется за плохообтекаемое тело, и в турбулентном слое циркуляционной зоны, происходит смешение свежей смеси с горячими продуктами сгорания и её непрерывное воспламенение. Фиг 1

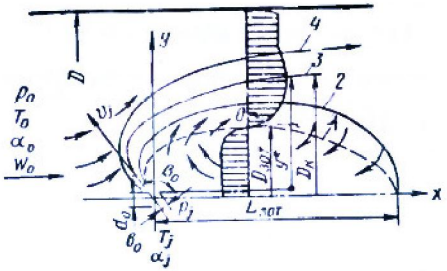


Фиг. 1. Стабилизатор пламени с помощью плохообтекаемого тела

Недостатки стабилизатора в виде плохообтекаемого тела для форсажной камеры сгорания: большая потерь на нефорсированных режимах, сильная инфракрасная радиация на форсированном режиме, большая длина форсажной камеры из за длинные фронты пламени.

Для решения этих вопросов, выдвинули стабилизации пламени с помощью газовых струй и называли газодинамической стабилизации пламени. Сущность газодинамической стабилизации пламени является образование зоны циркуляции с помощью струй воздуха и других газов, направленных навстречу или под некоторым углом к основному потоку. В цели что, исследовать характеристик газодинамической стабилизации пламени, моделирование в программном комплексе ANSYS Fluent является мало-траченым и высокоэффективным способом. При моделировании, выбором модели турбулентности является очень важный момент.

В статьи представлены расчет газодинамики течения газа при стабилизации пламени веерной струей в ANSYS Fluent при разных моделях турбулентности, сделаны сравнение с результатом эксперимента, и получены самую совпадающую модель турбулентности для расчета газодинамического стабилизатора.

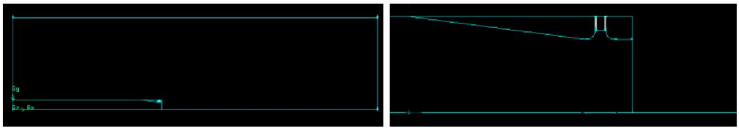


Фиг. 2. Схем веерных струй в потоке: 1-граница зоны обратных токов; 2-граница зоны циркуляции; 3-траектория струи; 4-внешняя граница струи

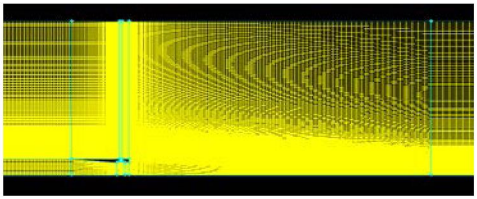
В данной части, сделано 2D численное моделирование поперечных струей в основном потоке, т. е. газодинамической стабилизации при угле вдува.$\beta_0 = 90^0$.

Модель прямоточной камерой сгорания представляется собой цилиндрическую трубу. Длина трубы 500мм, диаметра трубы 200мм. В центре прямоточной камерой сгорания находится маленькая труба-инжекционный насадок, через которую подвести топливовоздушная смесь. Диаметра маленькой трубы 20мм, длина 200мм. На

конце насадки есть кольцевая щель для создания веерных струй. Ширина щели 1,12мм. Построим модель и сетки, как в фиг 4 и 5.



Фиг. 3. Схема модели в Gambit и насадка для создания веерных струей

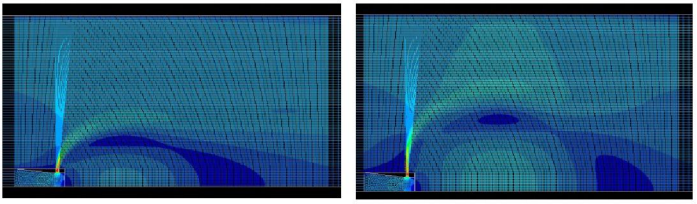


Фиг. 4. сетки рядом с щелью

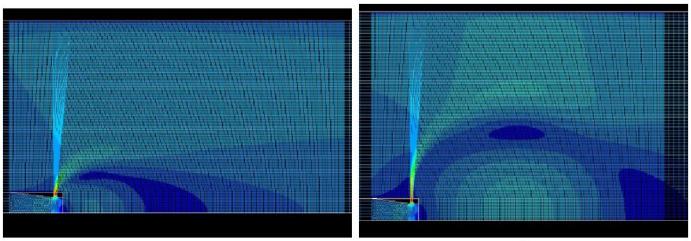
При моделировании, выбрали 4 моделей турбулентности: k-epsilon Stand, k-epsilon Realizable, SST k-ω и RSM- linear pressure-strain. Для обеспечения сравнимости между этими результатами и с результатами эксперимента, граничные условия всё одинаковые и параметра подобия $q=\rho_j v_j^2/\rho_o v_o^2=30$, как в экспериментах.

Результаты моделирования при холодном течении:

1.Получены поля скоростей течения, поля давления, граница обратных токов при разных моделях.

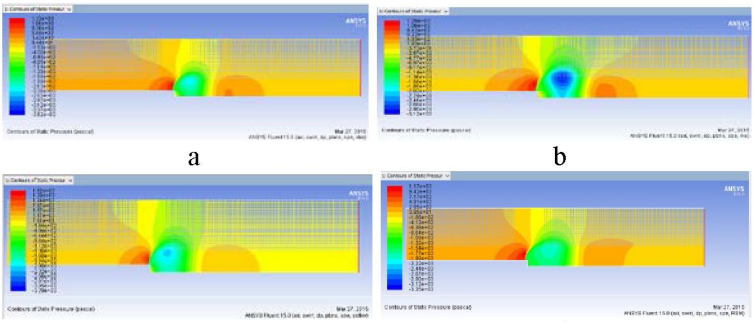


a b



c d

Фиг 5. Поля скоростей течения при разных моделей турбулентности
a-«k-epsilon Stand»; b-«k-epsilon Realizable»;
c-«SST k-ω»; d-«RSM- linear pressure-strain»



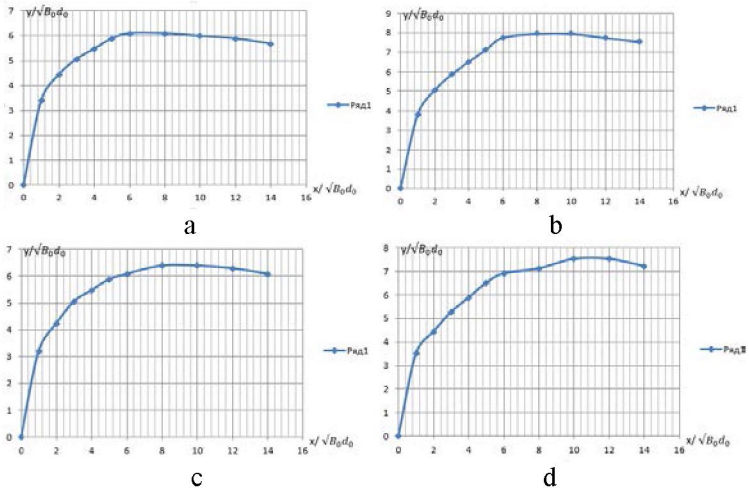
a b

c d

Фиг 6. Поля давления течения при разных моделей турбулентности
a-«k-epsilon Stand»; b-«k-epsilon Realizable»;
c-«SST k-ω»; d-«RSM- linear pressure-strain»

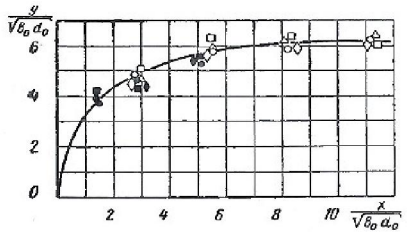
На картине фиг. 7 и 8. показано поле скорости и давления за газодинамической стабилизацией пламени. Разница между ними очень заметная.

2. получены траектории струй в относительных координатах.



Фиг. 7. Траектория струи при разных моделей турбулентности
a-«k-epsilon Stand»; b-«k-epsilon Realizable»;
c-«SST k-□»; d-«RSM- linear pressure-strain»

3. Приведение траектории струй по эксперименту.



Фиг. 8 Траектории веерных струй при различной температуре и скорости струи и потока ($\bar{q}$ = 30).

T_j/T_0: ● — 0,35; ◆ — 0,63; ■ — 1,67; w_0, м/с: ○ — 32,6; □ — 49; △ — 65,3; ◇ — 81.

Вывод:

Сравним эти траектории веерных струй с экспериментальными данными. По-видимому, при модели турбулентности k-epsilon Realizable и модели турбулентности RSM- linear pressure-strain траектории расчетов значительно больше траектории, полу-

ченной из экспериментов. При модели турбулентности SST k-ω, траектории расчетов наилучше совпадает с экспериментальными данными.

Список литературы

1. Мингазов. Б. Г. Камеры сгорания газотурбинных двигателей. Казань, 2004. 220 с.

2. Вьюнов С. А., Гусев Ю. И., Карпов А. В. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей: Учебник для студентов вузов по специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки».- М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.: ил.

3. Gordon C. Oates. Aerothermodynamics of Aircraft Engine Components. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1985. – 548p.

4. Талантов А. В.. Основы Теории Горения. Учебное пособие. Казань, 1975. -126 с.

5. Г. Н. Абрамович. Прикладная газовая динамика-М.: Наука,1991-600с.

CALCULATION STUDY OF GAS DYNAMICS OF THE FLOW BEHIND THE GAS-DYNAMIC FLAME STABILIZER

Li Ziwan*, *Yousef W

Supervisor: Varsegov V., candidate of technical sciences, docent

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this paper authors provides Results of simulation of flame stabilization in afterburner combustion chambers by different models of turbulence. Compared with the result of the experiment, the best matching model was obtained. The conclusion is drawn, That the SST k-ω model is the most accurate turbulence model for calculating the gas-dynamic stabilizer.

УДК 62-984

ОПТИМИЗАЦИЯ КАМЕРЫ СМЕШЕНИЯ ГОЗОГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Марьин Ю.М.
Научный руководитель: Г.И. Павлов, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В этой статье рассмотрена возможность использования безсоплового газогорелочного устройства с использованием камеры смешения на основе дискретных элементов.

В промышленности широкое распространение получили сопловые газогорелочные устройства. Сопловые горелки обладают хорошими эксплуатационными и техническими характеристиками. Однако, такие горелки могут эффективны при работе на газе среднего и высокого давления.

Для эффективного сжигания горючих газов низкого давления предлагается использовать безсопловое газогорелочное устройство. Требуемое смесеобразование в этом горелочном устройстве обеспечивается за счет использование дискретных металлических элементов. Такой способ смесеобразования ни имеет определенные преимущества перед другими. Например, низкий уровень шума работы горелки, короткий участок смесительной камеры, простота конструкции.

В качестве дискретных металлических элементов предлагается использовать пружинки диаметром 4 мм изготовленные из проволоки ДКРХМ НЖМ ц 28-2.5-1.5. диаметром 0.3 мм.

Однако дискретные элементы создают большое гидравлическое сопротивление. Физические свойства рабочего тела, кинематические характеристики потока и особенности внутреннего строения пор определяют гидравлические потери в пористых конструкциях [2].

В общем случае зависимость между этими факторами можно

представить в виде

$$\frac{\Delta p}{L} = f(V_к, Д_к, \rho, \mu),$$

где $\Delta p = p_1 - p_2$ – перепад давления на входе и на выходе, а L – длина пористого образца; $V_к$ – характерная скорость течения, $Д_к$ – характерный размер пористой структуры образца, ρ – плотность среды, μ – коэффициент динамической вязкости среды.

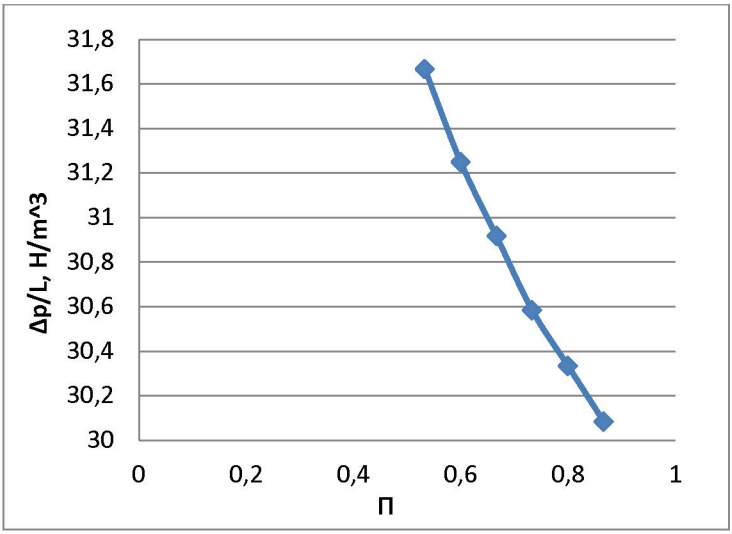


Рис. 1. Зависимость отношения давления
к длине пористого образца от пористости

Гидравлическое сопротивление можно уменьшить подбором оптимальной длины, диаметра камеры смешения и пористости. Для этого был проведен ряд экспериментов при постоянной длине камеры смешения и переменной пористости. На рисунке 1. приведен график зависимости отношения перепада давления к длине камеры смешения от пористости. Из графика следует, что чем меньше пористость, тем больше потери в камере смешения. При этом, качество смесеобразования меняется незначительно.

Список литературы

1. Белов С.В. Пористые проницаемые материалы: Справ изд. // М.: Металлургия 1987. 335 с.
2. Жижкин А.М. Распределение пор по размерам в тонкостенных изделиях из материала МР // Труды международной научно-технической конференции “Проблемы и перспективы развития двигателестроения”. Часть 1. Самара. 2003. – С. 185–190.
3. Изжеуров Е.А. Формирование элементов конструкций гидродинамического тракта энергетических установок из упругого пористого материала МР. // М.: Машиностроение, 2001. – 286 с.

OPTIMIZATION OF THE CAMERA OF MIXING THE GAS-HEATER DEVICE BASED ON DISCRETE METAL ELEMENTS

Maryin Yu.
Supervisor: G. Pavlov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this article, the possibility of using a gas-free nozzleless device using a mixing chamber based on discrete elements is considered.

УДК 662.951.23

РАЗРАБОТКА ДВУХСТУПЕНЧАТОГО БЕЗСОПЛОВОГО ГАЗОГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА

Марьин Ю.М.
Научный руководитель: Г.И. Павлов, профессор,
доктор технических наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В статье рассматривается возможность применения двухступенчатого сжигания горючего газа. Смесеобразование обеспечивается за счет дискретных металлических элементов.

Каждый год требования к газогорелочным устройствам повышается. Это обусловлено тем, что развитие промышленности не стоит на месте. Инженеры предлагают различные конструктивные изменения позволяющие увеличить теплопроизводительность, уменьшить габариты и повысить полноту сгорания топлива.

Авторами статьи предложено разработка безсоплового газогорелочное устройство с двухступенчатым сжиганием горючего газа. Воздух, необходимый для сжигания горючего газа, подается по двум контурам. В первый контур подводится воздух с коэффициентом избытка воздуха α=0.7. Требуемое смесеобразование обеспечивается за счет дискретных металлических элементов. Дожигание горючего газа обеспечивается за счет воздуха подаваемого во второй контур.

Предлагаемый способ сжигания горючего газа в теплотехнике широко используется. Так как, согласно эффекту Гуссака, при горении богатой газовоздушной смеси образуются продукты неполного горения с низкой энергией активации.

На рис.1 показана схема двухступенчатого газогорелочного устройства. Канал 3 выполнен сужающимся. Это обусловлено тем, что использование дискретных металлических элементов вызывает большое гидравлическое сопротивление в тракте смешения. Для обеспечения устойчивого горения следует увеличить скорость по-

тока, что достигается некоторым сужением камеры смешения. Второй контур подачи воздуха представляет собой расширяющуюся камеру, в которую подводится вторичный воздух.

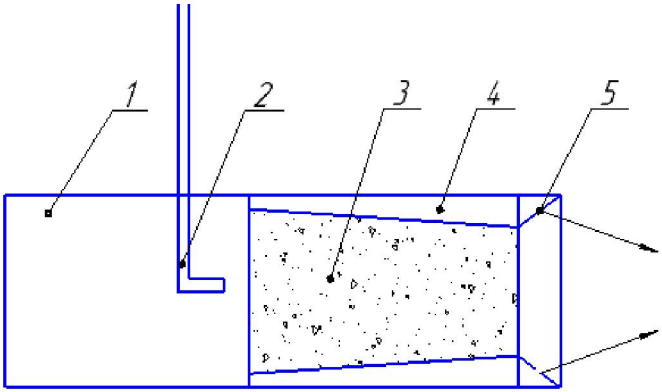


Рис. 1. Схема двухступенчатого газогорелочного устройства. 1- канал подвода воздуха, 2- патрубок подвода горючего газа, 3- канал с дискретными металлическими элементами , 4- канал подвода вторичного воздуха, 5- отверстия для подачи вторичного воздуха

Такая схема сжигания топлива позволяет создать высокоэффективное горелочное устройство, надежно функционирующее на газе низкого давления и обеспечивающее требуемую полноту сгорания.

Для проверки предлагаемой гипотезы был создан огневой стенд и модель горелки с двухступенчатым подводом воздуха. Схема стенда приведена на рис.2.

Огневой стенд предназначен для экспериментального определения полноты сгорания газовоздушной смеси путем определения геометрических характеристик факела в зависимости от качества смесеобразования.

Огневой стенд представляет собой сварную рамную конструкцию, на которой смонтировано газогорелочное устройство, система управления, система подачи газового топлива и диагностическое оборудование со средствами измерения.

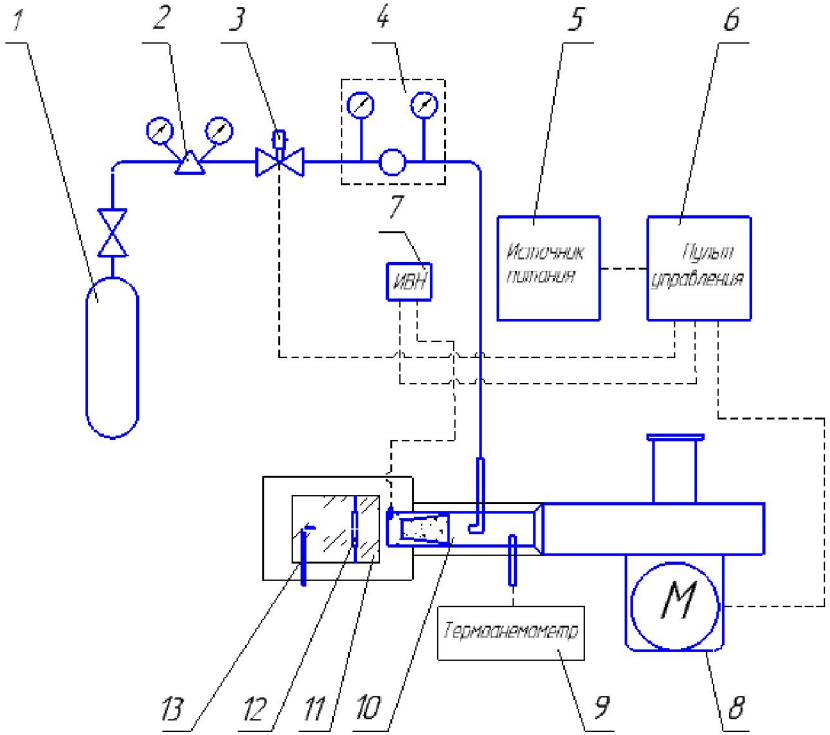


Рис.2. Общий вид огневого стенда. 1- Баллон природного газа, 2- газовый редуктор, 3- электромагнитный клапан, 4- система измерения расхода газа, 5- источник питания, 6- пульт управления, 7- источник высокого напряжения, 8- электровентилятор, 9- термоанемометр, 10- газогорелочное устройство, 11- кожух, 12- металлическая пластина для пирометра, 13- пробоотборник для продуктов сгорания

Список литературы

1. Иванов Ю.В. Газогорелочные устройства // Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: изд-во “Недра”, 1972 г. 267 с.

2. Изжеуров Е.А. Формирование элементов конструкций гидродинамического тракта энергетических установок из упругого пористого материала МР. // М.: Машиностроение, 2001.- 286с.

DEVELOPMENT OF A TWO-STEPPED FLUID-FREE GAS-AND-HEAT DEVICE

Maryin Yu.
Supervisor: G. Pavlov Professor, Doctor of Technical Sciences
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The article considers the possibility of using a two-stage combustion of combustible gas. Mixing is provided by discrete metal elements.

УДК 537.226.4

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКА GeTe В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ

Мухаммадалии Курбонали[1], Собиров Джурабой Файзалиевич[1], Хусайнов Зубайдулло Курбоналиевич[1]

Научный руководитель: Махмадали Махмадиевич Сафаров[2] доктор технических наук, профессор

(1-Курган-Тюбинский государственный университет имени Носира Хусрава, г. Курган-Тюбе

2-Филиал Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Душанбе)

В работе приводятся результаты эксперимен-тально-теоретического исследования поведения температуро-проводности, удельной теплоемкости, энтропии, энтальпии и энергии Гиббса полупроводника GeTe в сегнетофазном состоянии **в** интервале температур 300-700К. Для измерения температуро-проводности, удельной теплоемкости, энтропии, энтальпии и энергии Гиббса исследуемых полупроводников нами использован динамический метод с дифференциальным сканирующим калориметром (ДСК).

Несмотря на большое число публикации, посвященных исследованиям теплофизических и термодинамических харак--теристик сегнетоэлектрика-полупроводника теллурида германия и твердых растворов на их основе в литературе практически отсутствуют данные, посвященные процессам температуропро-водности ***а*** полупроводника GeTe в сегнетоэлектрическом состоянии, включая вблизи температуры Кюри (T_c). В связи с этим в настоящее работе приводятся результаты изучения теплофизи-ческих и термодинамических (C_P, ΔH, ΔS и G) свойства полупро-водника GeTe при температуры $T \leq T_c$.

Соединения группы $A^{1V}B^{V1}$ относятся к классу узкощельных сегнетоэлектриков-полупроводников [1]. Исследование удельной теплоемкости и теплопроводности полупроводника теллурида гер-

мания в широком интервале температур от комнатной до 800К проводилось с помощью дифференциального сканирующего калориметра (ДСК) динамическим методам. Все экспериментальные данные выполнены на базе специализированного управляющего вычислительного комплекса с использованием ЭВМ [2]. На основе экспериментальных данных, нами вычислена температуропроводности GeTe в сегнетофазном состоянии, т.е. от 300К до вблизи температуры Кюри $T \leq T_C \sim 700$К. Установлено, что с ростом температуры теплопроводность λ и температуропроводность a исследуемых полупроводников уменьшается по экспоненциальному закону, но вблизи точки Кюри резко уменьшаются (таблица 1).

Таблица 1

Вычисленные значение теплопроводности, темпера-туропроводности по формуле с экспериментальными значениями исследуемых образцов при различных температурах

Т,К	$\lambda_{экс.}$, Вт/(м·К)	$\lambda_{расч.}$, Вт/(м·К)	Δ, %	$a_{экс}\cdot 10^6$, м^2/с	$a_{расч}\ 10^6$, м^2/с	Δ, %
300	8,8167	9,001	2,04	6,6766	6,5721	1,59
400	8,1333	7,801	4,25	5,8707	6,0024	2,19
500	6,640	6,0523	1,79	4,6359	4,8509	4,43
602,96	4,817	5,1255	6,09	2,9461	3,0574	3,6
665,88	4,483	4,231	5,96	1,3273	1,5577	14,79

Для расчета температурной зависимости температуропроводности теллурида германия использовали уравнение

$$a=-2{,}9089\cdot 10^{-11}\,T^2+1{,}4665\cdot 10^{-8}\,T+4{,}7906\cdot 10^{-6},\ м^2/с \qquad (1)$$

По результатам эксперимента было установлено, что в исследованном интервале температур удельная теплоемкость C_P в пределах погрешности монотонно увеличивается с температурой, а вблизи точки Кюри (T_c) наблюдается нелинейный (резкий) рост.

Значения удельной теплоемкости C_P теллурида германия для различных температур представлены в таблице 2. Видно, что с ростом температуры C_P полупроводника GeTe аномально возрастает. Используя метод наименьших квадратов, компьютер-ную программу Exsel и экспериментальные результаты функцио-нальной зависимости удельной теплоемкости $C_P = f(T)$ в сегнетофазном состоянии получим следующие эмпирические уравнения:

$C_{p1} = 0{,}0004\ T^2 - 0{,}1774\ T + 229{,}74$ (T≥300-626К), (Дж/(кг·К)) (2)

и

$C_{p2} = 0{,}2139\ T^2 - 268{,}92T + 84796{,}84$ (T≥626-666К=T_C), (Дж/(кг·К) (3)

где Т- температура, процентная оцениваемая нами общая погрешность определения C_P не превышает 2-3 %.

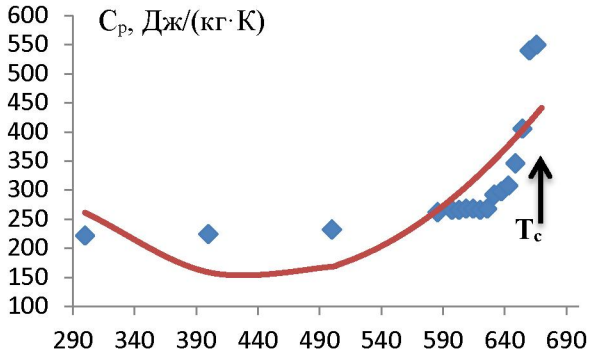


Рис. 1. Температурная зависимость теплоемкости $C_{p=}$ (C_{p1}, C_{p2}) GeTe, $C_p = f(T)$ в сегнетофазном состоянии

Известно, что для расчета термодинамических свойств, в том числе теплоемкости полупроводника теллурида германия в сегнетофазном состоянии можно получить единое эмпирическое уравнение. Но иногда результаты расчетов по уравнению не дают приемлемых данных. Поэтому мы перед собой поставили задачу уменьшить погрешность расчета с помощью полученных эмпирических уравнений. Для этого мы их разделили на две части. Так как результаты расчета полученными эмпирическими уравнениями (методом разделения по частям) дают удовлетво-рительные данные, т.е. погрешность расчета будет минимальна.

$C_p = (C_{p1}, C_{p2}) = f(T)$:

а) $C_{p1} = 0{,}0004\,T^2 - 0{,}1774\,T + 229{,}74$

б) $C_{p2} = 0{,}2139T^2 - 268{,}92T + 84796{,}84$

Одной из важнейших термодинамических и теплотехнических характеристик веществ является энтропия. Ее изменение ΔS связано с «не конвертируемой теплотой». Наибольший теоретический и практический интерес представляет расчет энтропии веществ в конденсированном состоянии, так как в газовой фазе этот вопрос решен, как изложили выше, методами статистической физики. Вычисления энтропии сложных веществ суммированием энтропий элементов или их инкрементов не дают результатов, согласующихся с экспериментами. Отсюда следует необходимость создания математической модели определения энтропии кристаллических веществ. «Энтропия твердого тела зависит от атомных весов составляющих его атомов и сил, действующих между этими атомами» [3-5].

Экспериментальное измерение теплоемкости для разных интервалов температур является основным методом определения термодинамических свойств веществ. Для расчета температурной зависимости энтальпии, энтропии и энергии Гиббса кристалла теллурида германия использовали интегральные выражение от удельной теплоемкости:

$G(T) = H(T) + T \cdot \Delta S$ – энергия Гиббса, (4)

$\Delta H = C_P(T)\,(T - T_0) = C_P(T) \cdot \Delta T$ – энтальпия, (5)

$\Delta S = C_P(T) \ln \frac{T}{T0}$ – энтропия. (6)

Рассчитанные значения энтальпии, энтропии и энергии Гиббса полупроводника-сегнетоэлектрика GeTe в зависимости от температуры в сегнетофазе представлены в таблице 2. Установлено, что с ростам температуры значения энтальпии ($\Delta H > 0$) и энтропии ($\Delta S > 0$) кристалла теллурида германия увеличиваются, а энергии Гиббса ($G(T) < 0$) уменьшается (рисунок 3, 3а,б). Но вблизи точки Кюри наблюдается резкое уменьшение энергии Гиббса исследуемого вещества.

Для расчета температурной зависимости энергии Гиббса теллурида германия использовали уравнение

$G(T) = -0{,}009T^3 + 11{,}947T^2 - 5205{,}2\,T + 729045{,}696$, Дж/кг;

или

$G(T) = - 0{,}3787T^2 + 213{,}77\ T - 30332{,}304$ ($T \geq 300$- 625,84К), Дж/кг

$G\ (T) = - 45{,}762T^2 + 57398T - 18043001{,}657$($T \geq 626$- 666К), Дж/кг

Таблица 2

Вычисленные значение удельной теплоемкости C_p, Дж/(кг·К), энтальпии ΔН(Дж/кг), энтропии ΔS (Дж/(кг·К)) и энергии Гиббса G(Дж/кг) по формуле с экспериментальными значениями исследуемых образцов при различных температурах в сегнетофазе

Т, К	Δ Н, Дж/кг	Δ S, Дж/(кг·К)	G, Дж/кг	ΔН/Δ S =T_T, (Т >T_T) (К)	C_p, Дж/(кг·К)
300	5691,60	19,88	-284,304	286,2	210,8
400	28486,10	85,68	-5416,304	332,47	224,3
500	52754,80	140,63	-18122,304	375,13	232,4
585,8	81984,88	200,12	-35061,151	409,68	262,1
591,5	84152,98	204,29	-36388,654	411,92	264,2
597,2	86247,84	208,24	-37740,939	414,18	266
602,9	87769,36	210,77	-39118,005	416,42	266
608,7	89962,24	214,89	-40519,851	418,64	268
614,4	91495,20	217,40	-41946,479	420,86	268
620,1	92333,92	218,24	-43397,887	423,08	266

625,8	94561,12	222,34	-44900,977	425,30	268
631,6	104699,52	244,91	-45719,730	427,50	292
637,3	108555,44	252,63	-49533,003	429,70	298
643.0	113960,00	263,86	-56340,795	431,90	308
648,7	129999,12	299,47	-66143,105	434,10	346
654,4	154864,64	354,97	-78939,935	436,28	406
660,1	209066,40	476,83	-94731,283	438,45	540
665,9	216084,00	490,40	-113517,150	440,63	550

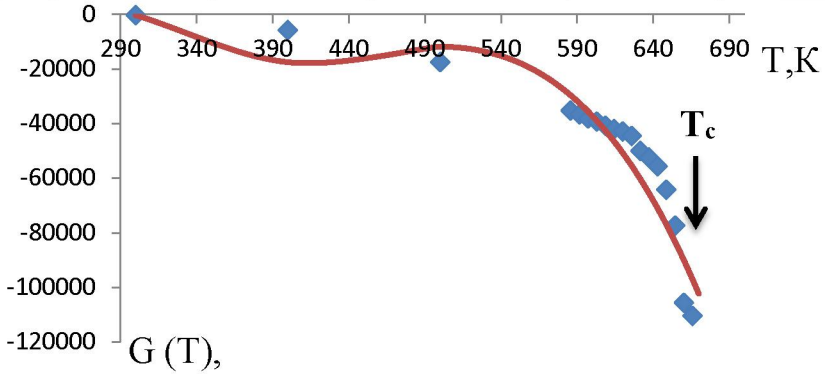


Рис. 2. Температурная зависимость энергии Гиббса
G(T) = H(T)-T·S(T) полупроводника GeTe

$G(T) = - 0{,}009T^3 + 11{,}947T^2 – 5205{,}2\ T + 729045{,}696$

Экспериментально-теоретическим методом нами получены данные по температуропровотности, удельной теплоемкости, энтальпии, энтропии и изменению энергии Гиббса полупроводника GeTe при различных температурах при сегнетофазном состоянии. На основе экспериментальных данных и закона термодинамического подобия получен ряд эмпирических уравнений.

Список литературы

1. Коржуев М.А. Теллурид германия и его физические свойства. М.,: Наука, 1986. 101 с.

2. Калимуллин Р.Х., Собиров Д.Ф., Бурсиан Э.В., Гиршберг Я.Г. Влияние носителей на теплоемкость сегнетоэлектрика-полупроводника в области фазового перехода.// Изв. АН СССР. Серия физ. 1990. Т.54, №54, С. 699-702

3.Латимер В.М. Окислительные состояния элементов и их потенциалы в водных растворах/ Пер. с англ. – М.: Изд-во иностр. лит., 1954. – 400 с.

4. Василовский А. С., Мултановский В. В. Статистическая физика и термодинамика. –М.: «Просвещение», 1985 г., -250 с.

5. Базаров И. П. Термодинамика.// Издание третье, переработанное и дополненное –М.: «Высшая школа», 1983 г., -341 с.

THERMOPHYSICAL AND THERMODYNAMIC PROPERTIES OF THE SEMICONDUCTOR GeTe IN THE SEGNETOELECTRIC STATE

Sobirov Juraboy Fayzaliyevich[1], Muhammadalii Kurbonali[1], Husainov Zubaidullo Kurbonalievich[1]

Scientific adviser: Mahmadali Mahmadievich Safarov[2] Doctor of Technical Sciences, Professor

(1-Kurgan-Tuybe state University
after Nosira Khusrava, Kurgan-Tuybe
2-Filial Moscow state Universit
after M.V. Lomonosov, Dushanbe)

The results of an experimental-theoretical study of the behavior of the temperature-conductivity, specific heat, entropy, enthalpy, and Gibbs energy of a GeTe semiconductor in the ferroelectric phase in the temperature range 300-700 K are presented. To measure the temperature-conductivity, specific heat, entropy, enthalpy, and Gibbs energy of the semiconductors under investigation, we used a dynamic method with a differential scanning calorimeter (DSC).

УДК 628

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНОГО ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА В ПРОГРАММНОМ МОДУЛЕ ANSYS FLUENT

Москвитина А.Д.
Научный руководитель: Д.И. Пащенко, к.т.н
(Самарский государственный технический университет. г. Самара)

В статье рассмотрен подогреватель воздуха, работающий за счёт солнечной энергии, в климатических условиях г. Самара. С помощью численного моделирования произведено исследование тепловых и аэродинамических характеристик в программном продукте ANSYS Fluent. Выявлена зависимость коэффициента полезного действия от количества солнечного излучения и скорости воздуха на входе в подогреватель.

Весь мир, а в частности Европа и Америка, переживает бум популярности солнечной энергетики. В «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» так же взят вектор на увеличение доли возобновляемых источников энергии, поэтому целесообразно изучение различных технологий, работающих за счёт солнечного излучения. Одним из примеров использования такой энергии служит солнечный подогреватель воздуха.

Эффективность использования подогревателя с различными теплоносителями уже изучалась для многих регионов Российской Федерации [1,2]. Однако остаётся открытым вопрос, насколько эффективно использование солнечного подогревателя в районе Поволжья, а именно в Самаре. В данной работе проведено изучение тепловых и аэродинамических характеристик солнечного подогревателя воздуха в ANSYS Fluent для климатических условий города Самара.

Задачами данного исследования было изучение влияния технологических параметров, таких как скорость воздуха на входе в воздухоподогреватель, на коэффициент полезного действия и эф-

фективность использования солнечного воздухоподогревателя в течение светового дня для середины календарной весны.

Для выполнения поставленных задач был использован программный продукт ANSYS Fluent. Методикой данного исследования было выбрано компьютерное моделирование, поскольку оно позволяет производить практически любые эксперименты в виртуальном пространстве, соответствующем по своим важнейшим характеристикам реальности.

Для проведения исследования в ANSYS был выбран подогреватель со следующими основными элементами: светопоглощающая пластина из дерева, воздушный канал, прозрачное покрытие из стекла, два отверстия и боковые стенки, так же из дерева.

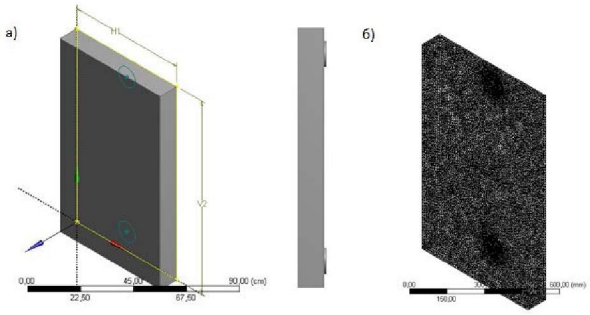


Рис. 1. Геометрические характеристики солнечного воздухоподогревателя (а); характеристики расчётной сетки (б)

Геометрические размеры были заданы следующие (рис. 1): высота 100 см, ширина 60 см, глубина 10 см. Радиусы входных и выходных отверстий составляют 10 см. Создание расчетной сетки выполнено во встроенном модуле Meshing. Общее число элементов – 37689.

Задача решалась в стационарном виде (steady), тип решателя основан на расчете давления (pressure-based). Для учета теплообмена между абсорбирующей поверхностью и теплоносителем подключено уравнение теплового баланса (Energy – on). Абсорбирующая поверхность расположена вертикально и ориентирована на юг.

Математическое описание модели движения воздуха внутри подогревателя общем виде представляет систему уравнений, состоящую из уравнений неразрывности, закона сохранения количества движения и закона сохранения энергии. Для моделирования динамики движения воздуха используются уравнения Навье-Стокса, замыкаемые стандартной k-ε моделью турбулентности.

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho u_i\right)=0, \quad (1)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м^3; u – скорость, м/с.

Уравнение закона сохранения количества движения:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho u_i u_j\right)=-\frac{\partial p}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(-\rho u_i u_j\right), \quad (2)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с.

Уравнение теплового баланса:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho u_j T\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(a+a_t\right)\frac{\partial T}{\partial x_j}\right], \quad (3)$$

где a и a_t – молекулярный и турбулентный коэффициент температуропроводности, соответственно, м^2/с; T – температура, К.

Начальные и граничные условия по температуре имеют следующий вид:

$$T_{вх}\left(t=0\right)=T_{п}\left(t=0\right)=T_{ст}\left(t=0\right)=T_{ос}\left(t=0\right), \quad (4)$$

$$\left.\frac{\partial T_{вх}}{\partial x}\right|_{x=0}=0, \quad \left.\frac{\partial T_{ст}}{\partial x}\right|_{x=H}=0, \quad \left.\frac{\partial T_{п}}{\partial x}\right|_{x=0}=0, \quad \left.\frac{\partial T_{п}}{\partial x}\right|_{x=H}=0, \quad (5)$$

где $T_{вх}$, $T_{п}$, $T_{ст}$, $T_{ос}$ – температуры воздуха на входе в подогреватель, светопоглощающей поверхности, стекла и окружающей среды, соответственно, К.

Для расчёта КПД теплообменника использовалась следующая формула:

$$\eta=\frac{Q_{пол}}{Q_{затр}} \quad (6)$$

В выражении (6) величина $Q_{пол}$ представляет собой количество теплоты, воспринятой воздухом, $Q_{затр}$ является потоком теплоты, падающим на светопоглощающую поверхность с солнечным излучением. $Q_{пол}$ и $Q_{затр}$ определяются соответствующими выражениями (7) и (9).

$$Q_{пол} = C_p G_в \Delta T \quad (7)$$

где $C_р$ – массовая теплоёмкость, кДж/(кг·К), $G_в$ – массовый расход воздуха, кг/с, ΔT - изменение температуры на входе и выходе из воздухоподогревателя, К.

$$Q_{затр} = Q_{изл} S_{СПВ} \quad (8)$$

$Q_{излучения}$ - значения теплоты солнечной радиации, а $S_{СПВ}$ - площадь абсорбирующей поверхности.

Для учёта солнечной радиации был использован солнечный калькулятор (solar calculator). Так как исследуется эффективность солнечного воздухоподогревателя в координатах Самары, были выбраны широта 53, долгота 50, 21 марта при солнечном факторе 1. Рассматривалось движение воздуха при различных скоростях: 0,3 м/с, 0,6 м/с, 0,9 м/с, 1,2 м/с, 1,5 м/с. Число итераций было выбрано 250.

Изменения значений солнечной радиации, предоставленные solar calculator, соответствуют исследованиям Клейна [3]. Анализ полученных данных показал, что КПД напрямую зависит от интенсивности излучения (рис 2).

В настоящей работе приведен анализ тепловых характеристик солнечного подогревателя воздуха для географических данных Среднего Поволжья (г. Самара) для середины календарной весны (21 марта). Для выполнения расчета характеристик СПВ использовался программный продукт ANSYS Fluent и подключением соответствующих настроек решателя. Полученные зависимости показывают энергетическую эффективность использования СПВ, так КПД составляет от 5-6% в 18 часов до 42-52% с 11 до 14 часов.

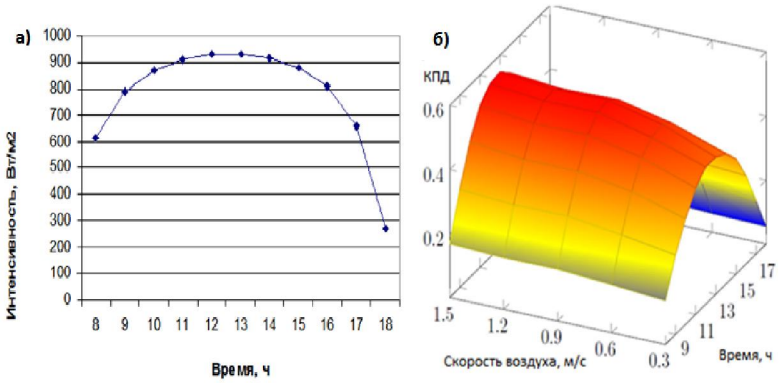


Рис.2 Интенсивность солнечного излучения в течение дня (а); Зависимость КПД от времени и скорости воздуха (б)

В результате данное исследование показало, что солнечный воздухоподогреватель может использоваться достаточно эффективно в климатических условиях Средней Волги.

Список литературы

1. Батухтин А.Г. Метод повышения эффективности системы теплоснабжения / С.Г. Батухтин, П.Г. Сафронов, М.В. Кобылкин // Nauka-rastudent.ru. – 2015. – No. 05 (17) / [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: http://naukarastudent.ru/17/2612

2. Батухтин А.Г Регенеративный водовоздушный теплообменник с повышенной эффективностью теплообмена / С.Г. Батухтин, А.Г. Батухтин, С.С. Достовалова, Р. А. Серебряков // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва - № 4 (46) / 2014

3. Klein S.A. A design procedure for solar heating systems. Ph. D thesis University of Wisconsin – Madison, 1976.

AN INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF A SOLAR AIR HEATER IN THE ANSYS FLUENT SOFTWARE MODULE

Moskvitina A.
(Samara State Technical University, Samara)

This paper is considered an air heater which works at the expense of solar energy, in the climatic conditions of Samara. A numerical study of the thermal and fluid characteristics of SAH was carried out via ANSYS Fluent. The efficiency of SAH for various inlet velocity is determined.

УДК 532.552

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНО КОРОТКИХ ТРУБ С ЗАКРУЧЕННЫМИ ЛЕНТОЧНЫМИ ВСТАВКАМИ

Мулюкова Э.Р.
Научный руководитель: А.Б. Яковлев, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Представлены результаты экспериментального исследования гидравлического сопротивления относительно коротких труб со вставленными скрученными лентами при течении воздуха. По результатам экспериментов построены зависимости коэффициента гидравлического сопротивления относительно коротких труб с ленточными вставками от числа Рейнольдса и относительной длины канала. На основе анализа экспериментальных данных получены обобщающие зависимости для расчета гидравлического сопротивления в таких каналах.

Закрутка теплоносителя – один из наиболее известных методов интенсификации тепломассообмена. Наиболее известным способом закрутки потока является размещение в трубах закрученных ленточных вставок (рисунок 1). Вставки в виде скрученных лент просты в изготовлении, легко размещаются в каналах различной формы и позволяют относительно дешево проводить модернизацию существующего тепломассообменного оборудования.

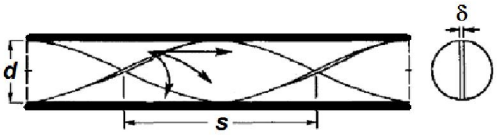


Рис. 1. Продольное сечение трубы с закрученной ленточной вставкой (δ – толщина ленты)

Степень закрутки ленты определяется относительным шагом закрутки s/d (где s – шаг закрутки при повороте ленты на 180°, d – внут-

ренний диаметр канала).

В настоящее время известно большое количество работ по изучению гидравлического сопротивления труб с закрученными ленточными вставками, наиболее известными из которых являются работы [1, 2]. Стоит отметить, что большинство исследований в этом направлении выполнено в относительно длинных каналах при стабилизированном течении. Однако гидравлическое сопротивление относительно коротких каналов может значительно отличаться от значения, рассчитываемого по формулам для стабилизированного течения, что связано с формированием на начальном участке пограничного слоя и профиля скорости [3]. В связи с этим в данной работе проведено исследование гидравлического сопротивления труб со скрученными ленточными вставками при нестабилизированном течении.

Исследование проведено в трубе с внутренним диаметром d=12 мм при адиабатном течении воздуха с осевым входом и выходом. Для разрушения сформировавшегося на входе пограничного слоя в начале трубы устанавливалась кольцевая диафрагма с высотой и шириной выступа 1 мм. Для измерения перепада давления между входом и определенным удалением от него в стенке трубы на расстоянии 25 мм друг от друга расположены 8 отверстий с диаметром 0,8 мм для отбора статистического давления с относительным удалением от входа x/d_e=3,63; 7,27; 11,63; 14,53; 18,17; 21,80; 25,44; 29,07 (где x – удаление от входа, d_e – эквивалентный диаметр канала со скрученной лентой по данным [1]). В сериях опытов применялись скрученные ленты с относительными шагами закрутки s/d=2,5; 3,5; 5,0.

Результаты тестовых опытов по гидравлическому сопротивлению короткой трубы без ленты показали удовлетворительное согласование (в пределах ±15%) с расчетными значениями, определенными по известной формуле А.С. Сукомела и др. [3]:

$$\xi = \frac{0,43}{\mathrm{Re}_x^{0,2}}, \quad (1)$$

где $\mathrm{Re}_x=wx/\nu$ (w – средняя скорость потока, ν - коэффициент кинематической вязкости среды). Это подтверждает работоспособность экспериментальной установки и достоверность получаемых экспериментальных данных.

На рисунке 2 представлена типичная зависимость коэффициента

гидравлического сопротивления $\xi=2\ \Delta p\ d_e/[x\rho w^2]$ (здесь Δp – перепад давления на участке, ρ - массовая плотность среды) от числа Рейнольдса $\mathrm{Re}=wd_e/\nu$ при различном удалении от входа в трубе со вставленной скрученной лентой. Как видно, при Re≈20000 наблюдается изменение характера зависимости коэффициента ξ от числа Re, что, вероятно, связано с изменением режима течения – переходом от ламинарного режима течения с макровихрями к турбулентному режиму течения с макровихрями по классификации В.К. Щукина [1].

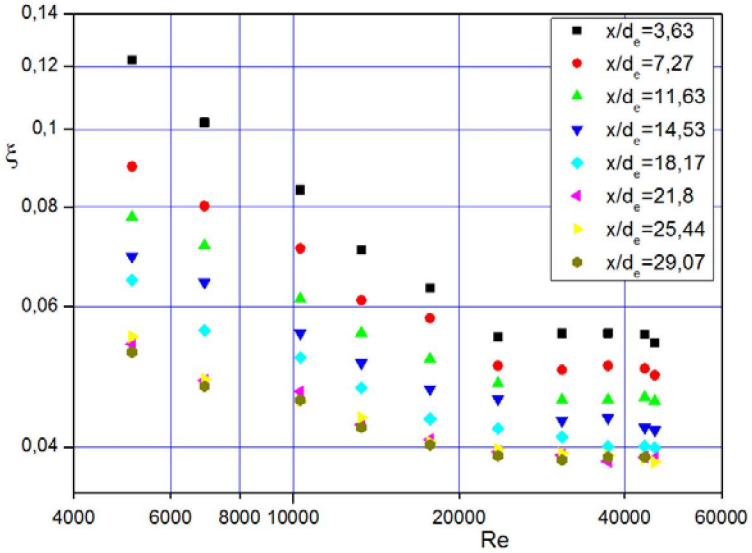


Рис. 2. Зависимость гидравлического сопротивления труб со вставленной скрученной лентой от числа Рейнольдса Re при s/d=5,0

На рисунке 3 представлена типичная зависимость коэффициента ξ в трубе со вставленной скрученной лентой от относительной длины канала при различных числах Re. Видно, что с удалением от входа коэффициент ξ уменьшается, что связано с формированием пограничного слоя. При этом при x/d_e >22 гидросопротивление перестает меняться, т.е. течение стабилизируется, что подтверждается и ранее полученными данными [4] для труб со скрученными лентами.

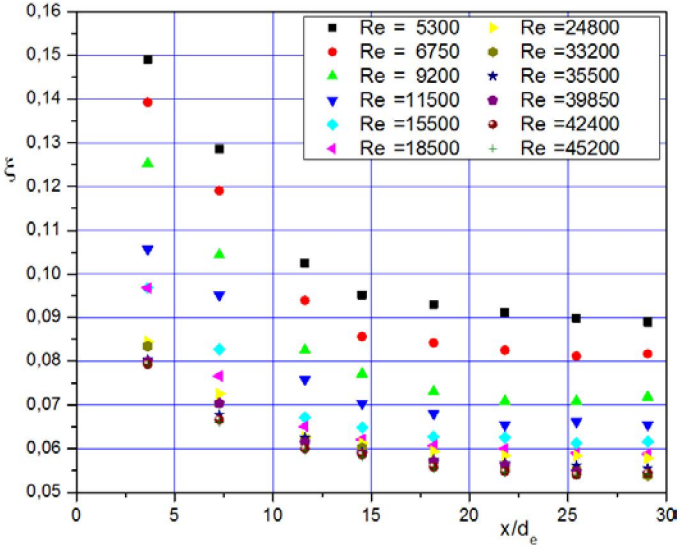


Рис. 3. Зависимость гидравлического сопротивления труб со вставленной скрученной лентой от относительной длины канала x/d_e при s/d=2,5

Все экспериментальные данные по гидравлическому сопротивлению на начальном участке были представлены в виде зависимости коэффициента ξ от числа Рейнольдса Re_x (рисунок 4). Как видно, при представлении результатов в таком виде экспериментальные данные не расслаиваются по параметру x/d_e. Очевидно, что с увеличением степени закрутки ленты (уменьшением величины *s/d)* гидросопртивление увеличивается. Кроме того, при некотором критическом значении $Re_{x_кр}$≈300000 характер зависимости ξ=f(Re_x) меняется, что вероятно является границей перехода от ламинарного режима течения к турбулентному.

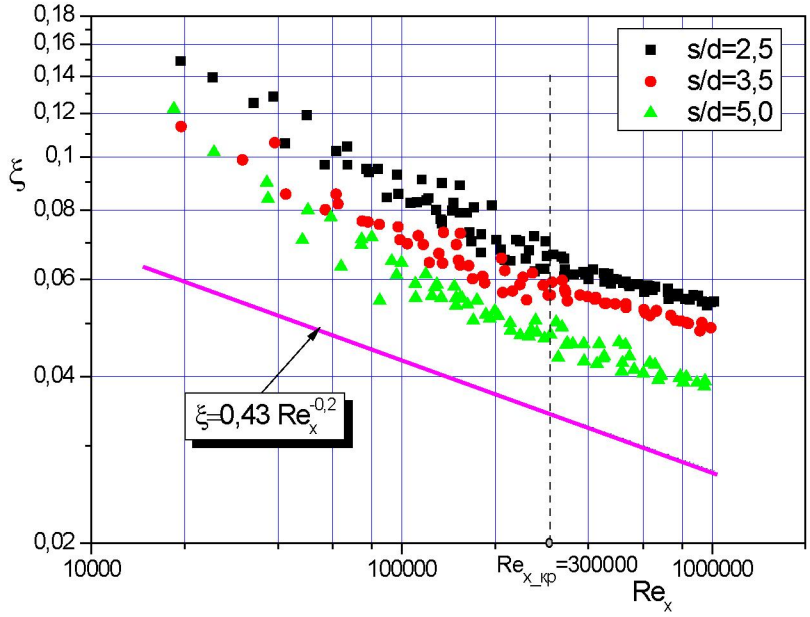


Рис. 4. Зависимость коэффициента ξ от числа Re_x для труб со скрученной лентой: точки - экспериментальные данные; линия – расчет по формуле (1) для прямой трубы

В связи с этим были получены обобщающие расчетные зависимости отдельно для каждого режима течения в следующем виде:
при $Re_x \leq 300000$

$$\xi = \frac{4,9}{Re_x^{0,3}(s/d)^{0,55}}, \quad (2)$$

при $Re_x > 300000$

$$\xi = \frac{0,59}{Re_x^{0,13}(s/d)^{0,5}}, \quad (3)$$

Полученные зависимости описывают экспериментальные данные с максимальным отклонением ±15 % при доверительной вероятности 0,95.

Список литературы

1. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М.: Машиностроение. 1980. 240 с.

2. Manglik R. M., Bergles A. E. Swirl Flow Heat Transfer and Pressure Drop with Twisted-Tape Inserts // Advances in Heat Transfer. 2002. Vol. 36. Pp. 183-266.

3. Сукомел А.С., Величко В.И., Абросимов Ю.Г. Теплообмен и трение при турбулентном течении газа в коротких каналах. М.: Энергия. 1979. 216 с.

4. Тарасевич С.Э., Яковлев А.Б. Гидродинамика одно- и двухфазных потоков в каналах с непрерывной по длине закруткой // Теплофизика высоких температур. 2003. Т. 41. № 2. С. 273-283.

HYDRAULIC RESISTANCE OF RELATIVELY SHORT TUBES WITH TWISTED TAPE INSERTS

Mulyukova E.
Supervisor: A. Yakovlev, Assoc. Prof.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The experimental results of hydraulic resistance of relatively short tubes with twisted tape inserts at air flow are presented. The charts of dependences of factor of hydraulic resistance vs. Reynolds's number and relative length of the channel are plotted. The generalizing dependences for calculation of hydraulic resistance in such channels are derived.

УДК 662.994

ТЕРМОХИМИЧЕСКОЕ АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ОТХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Мустафин Р.М. Карпилов И.Д.
Научный руководитель: Д.И. Пащенко, к.т.н., доцент
(Самарский государственный технический университет, г. Самара)

В материалах данного исследования была рассмотрена проблема сохранения теплоты отходящих дымовых газов. Была предложена новая схема аккумулирования тепловой энергии, за счет синтеза нового топлива, обладающего лучшими теплотехническими свойствами.

В реалиях нашего времени проблема сохранения тепловой энергии имеет большую значимость. В современной энергетике применяют большое число энергетических установок, использующих в качестве топлива природный газ, для которых характерно неравномерность нагрузки в течении времени (газотурбинные установки, ДВС, промышленные печи и т.п.). Для большинства таких установок характерны большие потери теплоты, уходящей с продуктами сгорания (дымовые газы). Эту теплоту можно с аккумулировать и эффективно использовать. Стандартный способ аккумулирования тепловой энергии – физическое тепло/физическое тепло (принцип термоса). Таким образом, в традиционных тепловых схемах для сохранения тепловой энергии требуется создание массивных накопителей с крайне высоким термическим сопротивлением стенок, что в свою очередь обуславливает высокую металлоемкость конструкции аккумулятора. И даже наличие высокого термического сопротивления не дает традиционным тепловым аккумуляторам сохранять тепло достаточно продолжительный промежуток времени. Более того в традиционных тепловых накопителях отсутствует возможность аккумулирования тепловой энергии, носителем которой являются высокотемпературные продукты сгорания (дымовые газы) с температурой выше 500°С. Устранить указанные недостатки возможно, если использовать иной способ

аккумулирования тепловой энергии. Например: трансформация физического тепла в химическую энергию. Принципом, позволяющим осуществить данную трансформацию, является термохимическое аккумулирование теплоты (ТХА). Принципиальная схема работы термохимического аккумулятора показана на рис. 1.

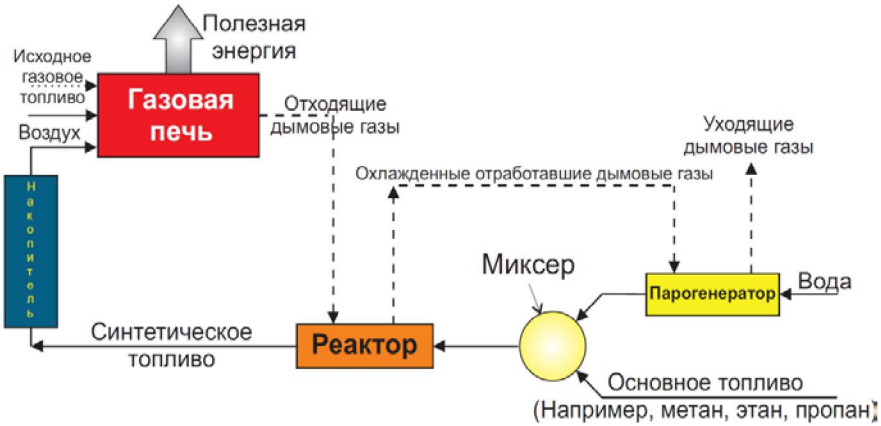


Рис.1. Принципиальная схема термохимического аккумулирование

Работа термохимического аккумулятора тепловой энергии построена на трансформации физической тепловой энергии продуктов сгорания в химическую энергию синтетического топлива [1-2]. Основа ТХА – это качественное преобразование одного вида энергии в другой. Если в традиционных схемах, накопление тепловой энергии происходит за счет передачи теплоты продуктов сгорания аккумулирующему теплоносителю (например, горячая вода, расплавы легких металлов и т.д.), то в ТХА физическое тепло продуктов сгорания преобразуется в химическую энергию синтетического топлива. ТХА основано на принципах термохимической регенерации теплоты. Новизна разработки заключается в том, что аккумулирование тепловой энергии происходит не за счет нагрева теплоносителя-аккумулятора, а за счет трансформации физической теплоты в химическую энергию [3-4]. Таким образом, появляется возможность аккумулирования тепловой энергии на значительные

промежутки времени: недели, месяцы и даже годы. Принципиальная схема термохимического реактор показана на рис. 2.

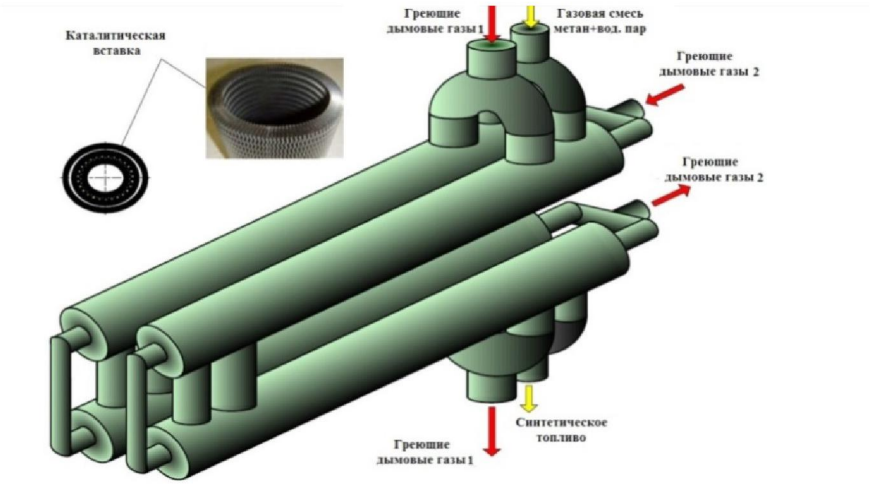


Рис.2. Термохимический реактор

Согласно рис. 2., отходящие дымовые газы после теплотехнологической установки, имеющие температуру выше 800°С, направляются на поверхностный обогрев реакционного пространства термохимического реактора. В реакционное пространство подводится газовая смесь водяного пара и метана. В присутствии никельсодержащих катализаторов в реакционном пространстве протекает эндотермическая реакция паровой конверсии, в результате которой физическое тепло дымовых газов трансформируется в химическую энергию нового синтетического топлива – осуществляется принцип термохимического аккумулирования тепловой энергии.

В результате протекания реакции паровой конверсии в реакторе начальное органическое топливо преобразуется в синтетическое по следующим химическим реакциям [5]:

$$CH_4 + H_2O = CO + 3H_2 - 206{,}1\text{кДж/моль}$$

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2 + 41{,}15\ \text{кДж/моль}$$

Если в традиционных схемах энергия топлива превращается в теплоту в одну стадию путем его непосредственного сжигания, то в ТХА теплоты процесс превращения энергии топлива разбивается на две стадии (рис. 3).

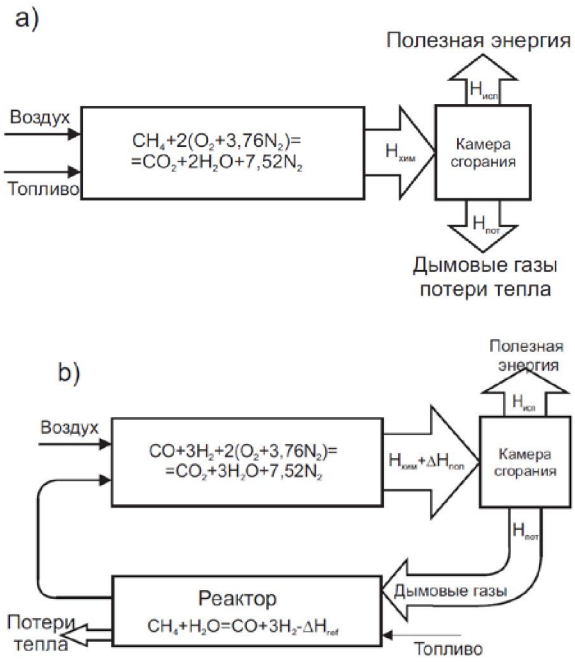


Рис.3. Схема трансформации теплоты: а) стандартная; б) с использование термохимический аккумулятор

Первая стадия – проведение каталитических реакций конверсии топлива, в результате чего происходит увеличение энергоемкости природного газа за счет трансформации физического тепла дымовых газов в химическую энергию нового синтетического топлива. Вторая стадия – сжигание продуктов реакции, т.е. нового синтетического топлива, имеющего бóльшую теплотворную способность (эксэргию) по сравнению с первичным природным газом.

ТХА предлагается к внедрению на предприятиях, в составе

которых имеются энергетические установки, для которых характерна высокая доля потерь теплоты с высокотемпературными отходящими дымовыми газами.

Использование принципа термохимического аккумулирования теплоты позволяет вывести большое количество топливопотребляющих установок, таких как высокотемпературные теплотехнологические установки (промышленные печи), газотурбинные установки и др., на качественно новый энергосберегающий уровень.

Список литературы

1. Пащенко Д.И. Использование термохимической регенерации теплоты в огнетехнических установках // Вестник СамГТУ. Серия: Технические науки. – 2009. - № 3(25). – С.232-236.

2. Щелоков А.И., Пащенко Д.И. Производство и использование синтез-газа в системах термохимической регенерации теплоты дымовых газов //Альтернативная энергетика и экология. – 2009. - № 12. – С. 10-14.

3. Пащенко Д.И. Термохимическая регенерация тепла дымовых газов путем конверсии биоэтанола // Теплоэнергетика. – 2013. - № 6. – С. 59-63.

4. Попов С.К., Свистунов И.Н. Энергосбережение в топливных печах посредством конверсии природного газа // Вестник МЭИ. – 2017. - № 2.- С. 45-54.

5. Пащенко Д.И. Производство водорода в системах химической регенерации теплоты дымовых газов // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. - №. 6. – С. 11- 15.

THERMOCHEMICAL STORAGE OF WASTE FLUE GASE HEAT

Mustafin R., Karpilov I.
Supervisor: D. Pashchenko, Ph.D. Associate Professor
(Samara State Technical University, Samara)

In the materials of this study, the problem of conservation of heat from exhaust flue gases was considered. A new scheme for accumulating thermal energy by synthesizing a new fuel with better thermal properties was proposed.

УДК 621.45.034

АНАЛИЗ РАБОТЫ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Нгуен Тхэ Дат
Научный руководитель: Б.Г. Мингазов, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Камера сгорания газотурбинного двигателя является одним из основных его элементов, и в большой степени определяет в целом экологические характеристики и эффективность работы двигателя. Актуальность данной работы заключается в том, что в гражданской авиации важным критериями двигателей являются экономичность и снижение эмиссии вредных веществ. В работе выполнен расчет камеры сгорания с учетом изменения характеристик газотурбинного двигателя (ГТД) при разных условиях работы.

Введение

В настоящее время хорошо разработаны математические модели различных схем турбореактивных двигателей (ТРД), в основу которых заложены условия совместной работы отдельных элементов в системе двигателя. Существует несколько уровней. В данной работе рассматривается первый уровень, характеризующий взаимосвязь между его элементами уравнениями, отражающими реальные условия их совместной работы. Принимается, что в камере сгорания по мере изменения режима работы воздушно-реактивного двигателя (ВРД) выходные параметры камеры сгорания (КС) не меняются. В реальности, по мере работы двигателя на различных режимах полета, происходит существенное изменение работы камеры сгорания, что может, в конечном итоге, влиять на работу всего двигателя. Целью данной работы является определение влияния характеристик камеры сгорания на работу ТРД. С этой целью выбрана расчётная схема двухвального ТРД.

Интегральные характеристики камеры сгорания

Основные параметры турбореактивного двигателя:

Удельная тяга $\left(R_{УД.}\right)$ определяется отношением тяги, развиваемой двигателем, к секундному расходу воздуха, размерность $\left[\frac{\text{Н}\cdot\text{с}}{\text{кг}}\right]$:

$$R_{УД.}=\frac{1}{m+1}\cdot\left[\left(1+q_T\right)\cdot c_{C1}-V\right]+\frac{m}{m+1}\cdot\left(c_{C2}-V\right),$$

где m - степень двухконтурности; q_T - относительный расход топлива в камере сгорания; c_{C1} , c_{C2} - скорости газа на срезе реактивных сопел внутреннего и наружного контура; V - скорость полета.

Удельный расход топлива в камере сгорания определяется отношением часового массового расхода топлива к тяге, равиваемой двигателем, размерность $\left[\frac{\text{кг}}{\text{Н}\cdot\text{ч}}\right]$:

$$c_{УД.}=\frac{3600\cdot\left(1-\delta\right)\cdot q_T}{\left(m+1\right)\cdot R_{УД.ОБЩ.}},$$

где δ - коэффициент утечек воздуха через лабиринты и отбор на охлаждение турбины.

Удельная тяга и удельный расход топлива в камере сгорания зависят от относительного расхода топлива в камере сгорания:

$$q_T=\frac{c_{Pг}\cdot T_Г^*-c_{Pв}\cdot T_K^*}{Hu\cdot\eta\ -c_{Pп}\cdot T_Г^*+c_{Pп}\cdot T_0},$$

где $c_{Pг}$, $c_{Pв}$ - удельные теплоемкости при постоянном давлении газа и воздуха соответственно; Hu - низшая удельная теплота сгорания топлива; η - коэффициент полноты сгорания топлива; $c_{Pп}\cdot T_Г^*$, $c_{Pп}\cdot T_0$ - величины, имеющие размерность энтальпии и учитывающие наличие в продуктах сгорания CO_2 и H_2O; $T_K^*, T_Г^*$

- тепературы за компрессором и перед турбиной; T_0 - стандартная температура, при которой определяется теплота сгорания топлива [1].

Относительный расход топлива в камере сгорания зависит, помимо таких величин, как требуемая нами температура газа перед турбиной и температура газа перед камерой сгорания, от такой величины, как полнота сгорания η. Полнота сгорания топлива – важнейшая характеристика камеры сгорания, определяющая эффективность и экологичность её работы. Она представляет собой отношение количества сгоревшего топлива к количеству поданного топлива в камеру сгорания. В соответствие с вышеприведенными формулами можно сделать вывод, что, увеличивая полноту сгорания η, мы тем самым уменьшаем относительный расход топлива q_T, и, как следствие, уменьшаем удельный расход топлива $C_{уд}$. Поэтому высокая полнота сгорания является важной целью при проектировании камеры сгорания [2].

При термогазодинамическом расчете турбореактивного двигателя ввиду сложности оценки полноты сгорания она принималась постоянной на всех режимах работы двигателя. В сущности же она зависит от многих факторов на входе в камеру сгорания и меняется в зависимости от скорости и высоты полета. Для возможности расчета характиристик камеры сгорания двигателя на кафедре авиационных двигателей и энергетических установок была создана одномерная модель и программа, позволяющая рассчитать камеру сгорания и построить зависимости коэффициента полноты сгорания от скорости полета на различных высотах.

Данная программа основана на теории «поверхностного» распространения пламени в турбулентном потоке. Привлекательным в использовании теории турбулентного горения в расчетах камеры сгорания является то, что определяющие параметры (интенсивность и масштаб турбулентности) позволяют кроме кинетических дополнительно учитывать в расчетах влияние гидродинамических факторов на процессы сгорания смеси.[3] Программа позволяет построить графики зависимости полноты сгорания от

скорости полета на различных высотах, высотно-скоростные характеристики, дроссельные характеристики двигателя и т.д.

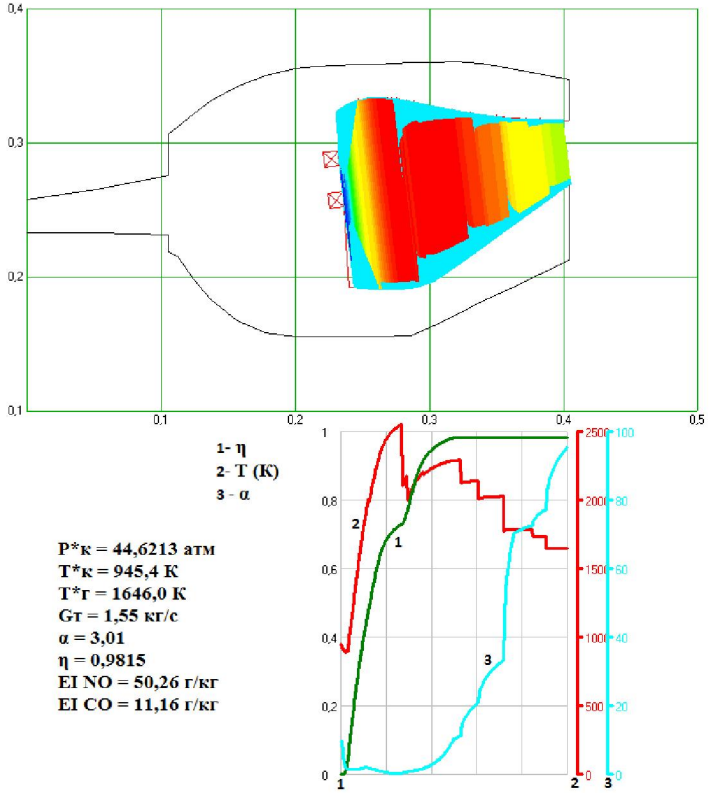


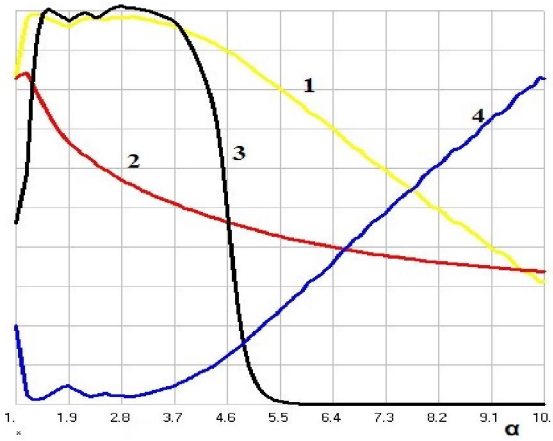
Рис.1. Процесс сгорания в КС и изменения параметров,

где P_K^* - давление за компрессором; T_K^* - температура за компрессором; T_Γ^* - температура перед турбиной; G_T - расход топлива; $\mathrm{EI\ NO}$ - индекс эмиссии окиси азота в составе продуктов сгорания (NO); $\mathrm{EI\ CO}$ - индекс эмиссии окиси углерода в составе продуктов сгорания (CO)

Перед построением графиков был получен облик кольцевой камеры сгорания с помощью указанной программы. Проектирова-

ние производился путем подбора основных геометрических характеристик камеры, количества форсунок и завихрителей, перепада давления на форсунках и т.д. Важнейшим фактором, влияющим на процессы в камере, является количество и расположение поясов подвода воздуха, а также распределением подводимого воздуха по поясам. Учитывая все вышеперечисленные характеристики, программа моделирует процессы в камере сгорания и отображает их в виде графического изображения, на котором представлен облик камеры сгорания, а также цветовое изображение отдельных зон. Кроме того программа отображает графики полноты сгорания, температуры, коэффициента избытка воздуха и другие параметры, изменяющиеся вдоль тракта жаровой трубы. В качестве примера рассмотрим высотно-скоростные характеристики двигателя на высоте полета H=0 м и при числе Маха полета M=0. На рис.1. представлены графики изменения значений полноты сгорания,температуры газа вдоль оси камеры.

Здесь под интегральными характеристиками понимается зависимости основных выходных параметров КС: температура T, полнота сгорания η и индексы эмиссий NO, CO от исходных параметров, в частности от коэффициента избытка воздуха α.



1 ETA	2 T	3 NO	4 CO
1.	3000.	50.	500.
0.9	2700.	45.	450.
0.8	2400.	40.	400.
0.7	2100.	35.	350.
0.6	1800.	30.	300.
0.5	1500.	25.	250.
0.4	1200.	20.	200.
0.3	900.	15.	150.
0.2	600.	10.	100.
0.1	300.	5.	50.
0.	0.	0.	0.

Рис.2. Характеристики КС по значению α

С помощью программы, мы построили следующие графики:

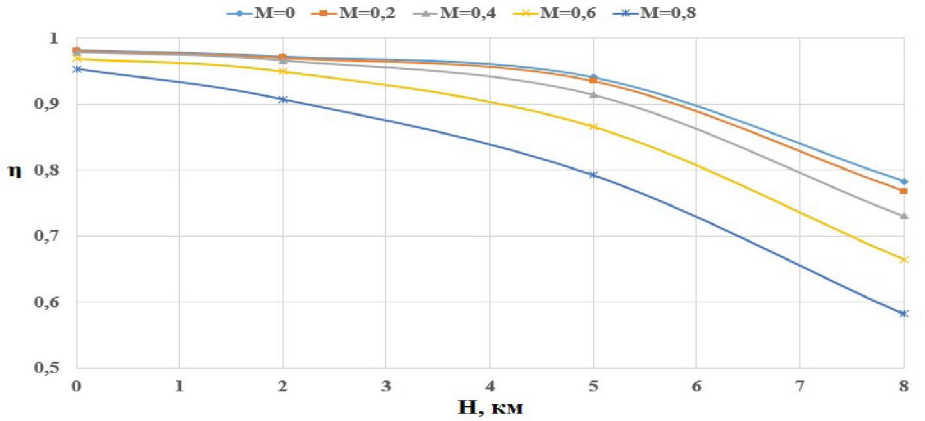


Рис. 3. Изменение полноты сгорания η по высоте полета H при разных значениях числа Маха полета M. Как видно из графиков полнота по высоте и по скорости падает

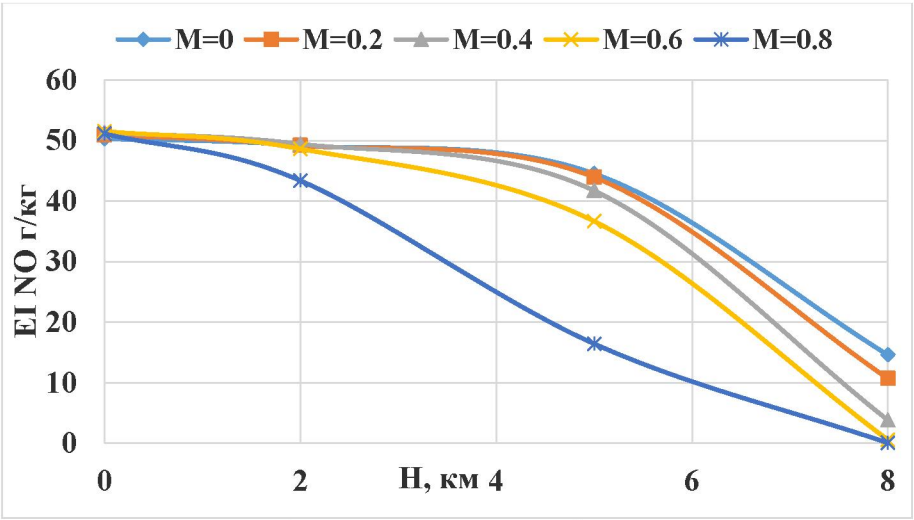


Рис.4. Изменение выбросы окислов азота EI NO по высоте полета H при разных значениях числа Маха полета M

Как видно из графиков выбросы окислов азота EI NO по высоте и по скорости падает.

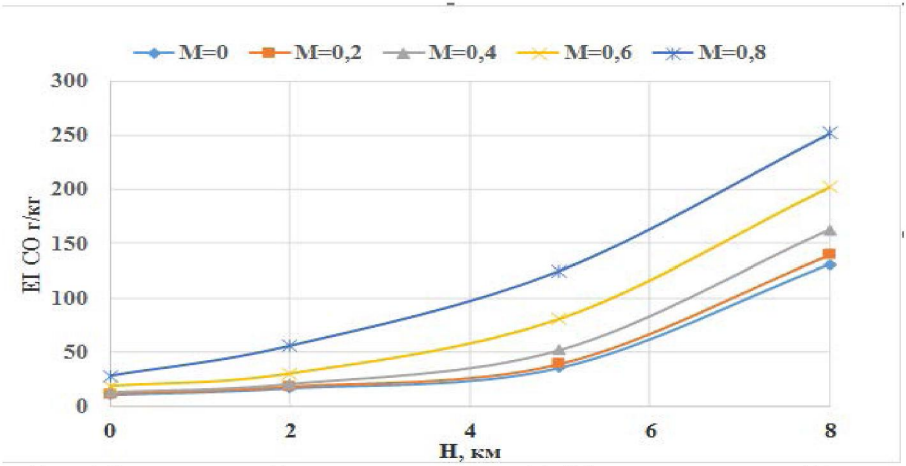


Рис.5. Изменение выбросы окиси углерода EI CO по высоте полета H при разных значениях числа Маха полета M

Как видно из графиков выбросы окиси углерода EI CO по высоте и по скорости увеличит.

Заключение

Полученные результаты зависимости полноты сгорания η и эмиссия NO , CO от исходных параметров (т.е. высота полета H и скорость полета M) расчета малоэмиссинной камеры сгорания позволяют создать оптимальные малоэмиссинные камеры сгорания применительно к конкретным двигателям. Также полученные результаты позволяют уменьшить время доводки узла в системе ГТД.

Аббревиатуры

ГТД – газотурбинный двигатель
КС – камера сгорания
ВРД – воздушно-реактивный двигатель
ТРД – турбореактивный двигатель
CO – окись углерода в составе продуктов сгорания
NO – окись азота в составе продуктов сгорания

Список литературы

1. Булавкин А.А., Рогожин Б.А. Выбор параметров, термогазодинамический расчет и расчет ВСХ ТРД, ДТРД и ТВД: Учебное пособие. - Казань: КАИ, 1985. - 67с.
2. Мингазов Б.Г., Камеры сгорания газотурбинных двигателей. Конструкция, моделирование процессов и расчет: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2004. - 220с.
3. Мингазов Б.Г., Александров Ю.Б., Костерин А.В., Токмовцев Ю.В. Процессы горения и автоматизированное проектирование камер сгорания ГТД и ГТУ: Учебное пособие. Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2015. - 160с.

ANALYSIS OF WORK OF THE COMBUSTION CHAMBER IN VARIOUS OPERATING CONDITIONS

Nguyen The Dat
Supervisor: B. Mingazov, Dr. Tech. of sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The combustion chamber of gas turbine engine is one of its basic elements, and in large extent determines the overall environmental performance and engine efficiency. The relevance of this work lies in the fact that civil aviation is an important criteria for motor efficiency and reduced emissions of harmful substances. The calculation of a combustion chamber is performed in the work, taking into account the change in the characteristics of the gas turbine engine under different operating conditions.

УДК 620.178

МЕТОДИКА И УСТАНОВКА ДЛЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДЫХ СМАЗОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Николаев И.А.
Научный руководитель: М.А. Ляховецкий, доцент, к.т.н.
(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Повреждения от фреттинга элементов, работающих в экстремальных условиях в ГТД вызывает сокращение предела выносливости на порядок, что приводит к образованию усталостных трещин. В настоящее время при аттестации материалов учитываются только усталостные характеристики. Методик для определения фреттинга не существует. Разрабатываемая методика может позволить прогнозировать ресурс элементов, работающих в условиях фреттинга и усталости.

Для изучения проблем влияния фреттинга на элементы, работающих в ГТД была разработана машина трения [1] (рисунок 1) в которой реализована схема возвратно-поступательного движения образцов с различными типами контакта. Принцип действия установки основан на истирании пары трения, которая представляет собой неподвижный палец, прижимающийся с выбранным усилием к торцевой плоскости вращающегося диска. Данная установка состоит из следующих компонентов: электромагнитного вибратора 1, который обеспечивает возвратно-поступательные перемещения одного из образцов, рычажной системы нагружения 4, которой регулируется величина нагружения, пьезоэлектрического датчика силы 3 с контроллером и лазерный датчик перемещения для регистрации амплитуды.

Для исследования механизма фреттинга используется схема узла трибоконтакта показанная на рисунке 2. Она включает образец, контр образец, зажатые в приспособлении и приведенные в соприкосновение, пьезоэлектрический датчик силы, регистрирующий силу трения между трущимися телами, и

оптический датчик перемещения. Но также возможны и другие типы контакта: цилиндр/цилиндр, и плоскость/цилиндр.

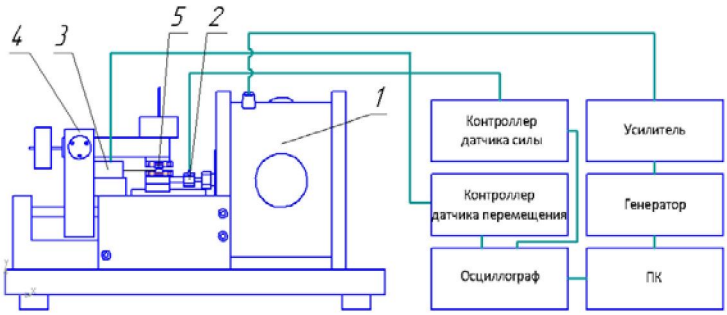


Рис. 1. Машина трения

Все эти виды сопряжений можно соотнести с типовыми контактами, реализуемыми в лабораторных машинах трения: плоскость/плоскость, сфера/плоскость, цилиндр/цилиндр, расчет контактного взаимодействия которых производится по теории Герца.

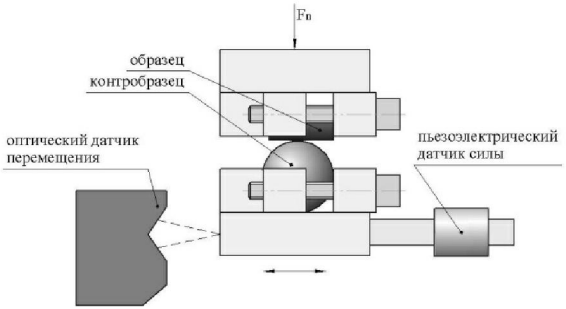


Рис. 2. Приспособление для фиксации образцов пары трения

В ходе проведения эксперимента числовой массив, получаемый с датчиков контроля процесса, записывается на ПК и выглядит в виде трех столбцов: времени (с), силы (В) и перемещения (В) (рисунок3).

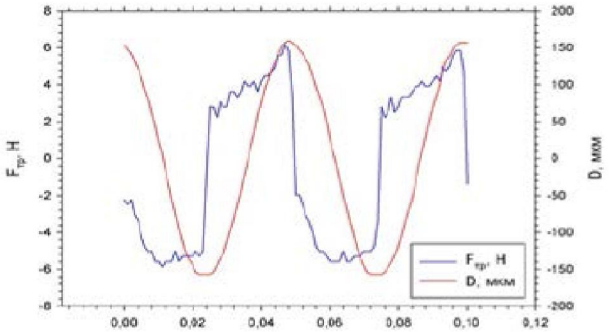


Рис. 3. Зависимость силы и времени от перемещения

Регистрация значений, считываемых датчиками, происходит в вольтах (В). Полученные значения переводились в параметры, требуемые системе, с помощью переводных коэффициентов, данные в документации к датчикам.

По преобразованным данным строится график зависимости силы трения от перемещения, представленный на рисунке 4.

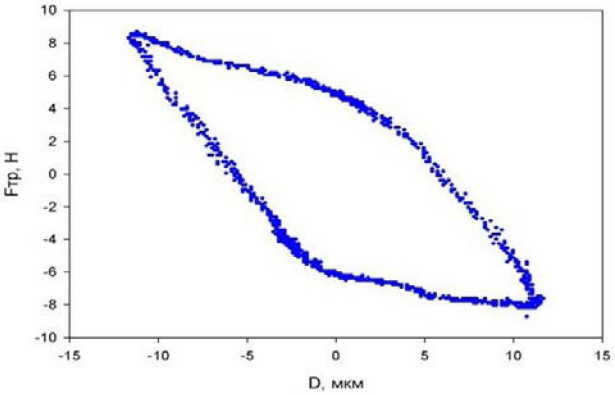


Рис. 4. Петля износа, построенная по данным полученных с датчиков

По виду петли износа мы можем судить о механизме взаимодействия (рисунок 5).

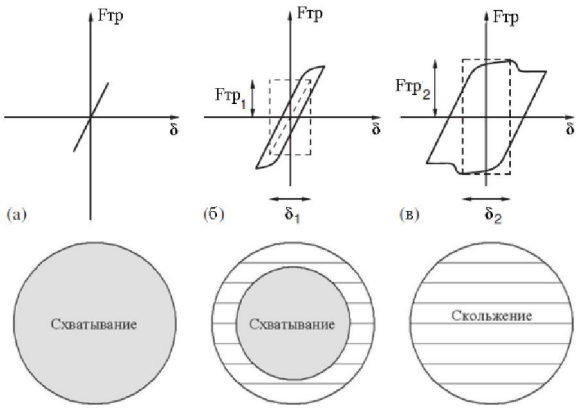


Рис. 5. Графическое изобраение режимов взаимодействия.
а) Упругое схватывание, б) частичное проскальзывание,
в) Полное скольжение

В первом случае перемещие тел возможно только за счет сил упругости, возникающих в материале. Это связано с тем, что нормальная сила в контакте мала. Такой тип взаимодействия при фреттинге получил название упругого схватывания или ложного фреттинга. Дальнейшее увеличение тангенциальной силы будет вызывать относительное проскальзывание тел в кольцевой зоне (рисунок 5б) на периферии контакта вследствие превышения силы трения (μFn) в этой зоне внешней тангенциальной силой ($F\tau$), по закону Амонтона-Кулона: $F\tau \geq \mu Fn$. Остальная же часть контакта будет по-прежнему находиться в зоне упругого взаимодействия. Графическая зависимость силы трения от перемещения при этом будет изменяться в сторону уширения петли в начале координат и появления гистерезиса. Гистерезис в петле определяет потерю энергии за один цикл трения в контакте и является основой для анализа трения с использованием *энергетического подхода*. С дальнейшим увеличением тангенциальной силы кольцевая зона проскальзывания будет увеличиваться, а упругая – уменьшаться. После того как зона упругого взаимодействия полностью исчезнет, т.е. тангенциальная сила превысит значения максимального давления в центре контакта, фреттинг перейдет в стадию так

называемого полного скольжения (рисунок 5в).

Для расчета коэффициента трения за один цикл использовалась формула:

$$\mu = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} \frac{E_{di}}{4 \cdot \delta_i \cdot F_n}$$

где рассеянная энергия (*Ed*) [2]:

$$E_{di} = \sum_{i=1}^{N} \frac{\delta_{i+1} - \delta_i}{2} \cdot (F_{\text{тр}(i+1)} + F_{\text{тр}i}$$

Вычисление этих базовых параметров позволяет в дальнейшем вести анализ процесса изнашивания.

В ходе анализа данных происходит определение границ перехода между режимами фреттинга [3] и построение их графических зависимостей от нормальной силы и перемещения, называемыми картами фреттинга (рисунок 6).

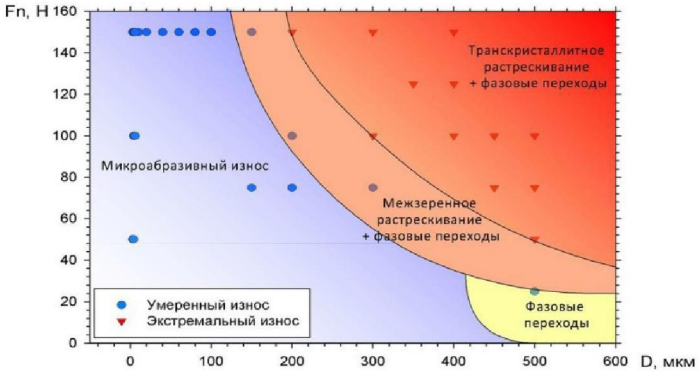


Рис. 6. Карта износа МДО покрытия на сплаве Д16

Список литературы

1. Лесневский Л.Н., Ляховецкий М.А., Разработка и применение установки для определения фреттинг-износа образцов с твердыми покрытиями // Тезисы докладов XXII Международной Инновационно-ориентированной Конференции Молодых Ученых и

Студентов «Актуальные проблемы машиноведения» МИКМУС-2012, М.: Изд-во ИМАШ РАН, 2012. - С.32

2. Liskiewicz T. Hard coatings durability under variable fretting wear conditions. PhD dissertation, 2004. – 174 p.

3. Лесневский Л.Н, Ляховецкий М.А., Савушкина С.В., Фреттинг-износ композиционного керамического покрытия, полученного методом микродугового оксидирования на алюминиевом сплаве д16, Трение и износ. Том 37 №3. 2016

METHODOLOGY AND FACILITY FOR TRIBOLICAL RESEARCH OF SOLID LUBRICANTS

Nikolaev I.
Supervisor: M. Lyakihovetsky, assistant professor, Candidate of Sciences
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

Damage from fretting elements working in extreme conditions in GTE causes a reduction in the endurance limit by an order of magnitude, which in turn leads to the formation of fatigue cracks. At present, only fatigue characteristics are taken into account in the certification of materials. There is no method for determining fretting. There is only a recommendation. The developed technique can allow to predict a resource of the elements working in the conditions of fretting and fatigue.

УДК 621.59:536.24

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООТДАЧИ В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Николаева Д.В.
Научный руководитель: А.А. Лопатин, доцент, к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Представлен способ интенсификации теплоотдачи в воздушных свободно- и вынужденно конвективных системах. Приведено сравнение эффективности интенсификаторов гладкого, луночного и разрезного оребрения. Представлены результаты обработки данных экспериментов и алгоритм расчета в программных комплексах.

В ритме современного мира технологических процессов, энергетических установок, авиационных, космических систем, а также устройств наземного назначения наряду с бесперебойной работой таких систем остро стоят вопросы правильного и оптимального обеспечения тепловых режимов, вопросы обеспечения которого непрерывно связаны с рациональным отводом тепла. Поэтому рассмотрение вопросов интенсификации теплоотдачи является важной и актуальной задачей при проектировании и эксплуатации технических устройств. В частности, данная работа затрагивает проблему охлаждения радиоэлектронного и электросилового оборудования.

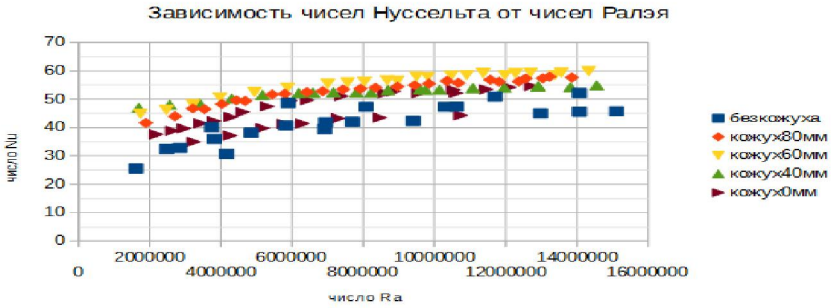
Целью данной работы является исследование тепловых характеристик оребренных поверхностей при естественном и принудительном воздушном охлаждении, определение наиболее интенсифицирующей поверхности путем проведения экспериментов наряду с использованием результатов программно-инженерного комплекса. Для достижения цели были поставлены задачи:

- создание экспериментального стенда;
- проведение экспериментов на рабочих участках гладкого, луночного и разрезного оребрения;

- обработка опытных данных;
- анализ и построение теплофизических зависимостей;
- численное моделирование с использованием средств инженерного анализа.

Отмечу, что область исследования интенсификации теплоотдачи не является новой. Так, в частности, определенных успехов в этой области добились ученые [1-4]. Однако тематика использования в качестве интенсификатора разрезных ребер является малоизученной.

Описание экспериментального стенда и методика проведения экспериментов подробно описана в работе [5]. Весь процесс разделялся на две основных: естественно конвективный и вынужденно конвективный. Рабочими участками были концентрические гладкие, луночные и разрезные ребра, выполненные из меди марки М1. Максимальная допустимая температура равнялась 80С. Система состояла из нагревательного элемента, рабочих участков, трубного попеременно опускающегося кожуха и приборов контроля температуры, давления, мощности нагреваемого элемента и скорости потока воздуха в трубе. Для сглаживания потока воздуха в начальном участке трубы была установлена спрямляющая решетка, а в конечном участке был установлен затвор с возможностью частичного, либо полного открытия/закрытия проходящего потока воздуха. Температура измерялась посредством контактов термопар, скорость воздуха вычислялась по измерениям показаний микроманометра.



Обработка экспериментальных данных включала в себя расчет чисел Нуссельта и Ралэя для естественной конвекции (см. рис.1), расчет чисел Нуссельта и Рейнольдса для вынужденной конвекции (см. рис. 3) и сравнение различных видов оребрения (см. рис.4).

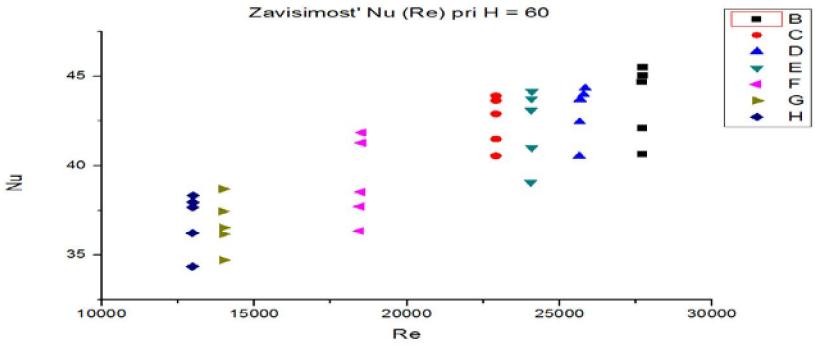


Рис. 1. Зависимость числа Nu от числа Re для разрезного оребрения при фиксированной высоте кожуха (60 мм) при различных нагревах и разных скоростях воздуха в кожухе

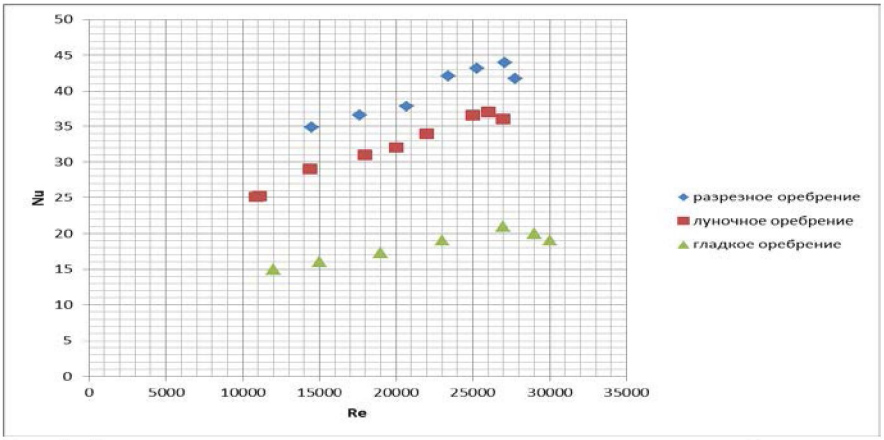


Рис. 2. Сравнение гладкого, луночного и разрезного участков оребрения при опущенном кожухе при фиксированном значении мощности нагрева (120 Вт) (вынужденная конвекция)

Для дополнительного анализа результатов полученых процессов, описанных в данной работе было принято решение сопоставить результаты, используя средства инженерного анализа, такие как: КОМПАС-3D V14, ANSYS- Meshing, CFX и ЛОГОС. Ход построения заключался в следующем:

1. Построение параметрической модели. Так как рабочей областью является область воздуха вокруг разрезных ребер — модель вычислительной области представляет собой вычет из общего объема исследуемой области объема твердометаллических компонентов системы.

2. Построение расчетной сетки вычислительной области. Здесь был задан метод построения сетки (tetrahedrons), минимальный размер ячейки, толщина призматического слоя.

3. Расчет теплофизической модели — назначение граничных условий: вход/выход воздушной области, скорость воздуха, температура на входе, обозначение греющей стенки и ее допустимая температура. В данном разделе был произведен расчет по моментам и массам, теплообмену и турбулентности.

В результате расчетов была определена средняя температура на выходе из канала, области с повышенной турбулентностью, распределения скоростей, давлений и температур. Результаты проиллюстрированы на рис.3 и 4.

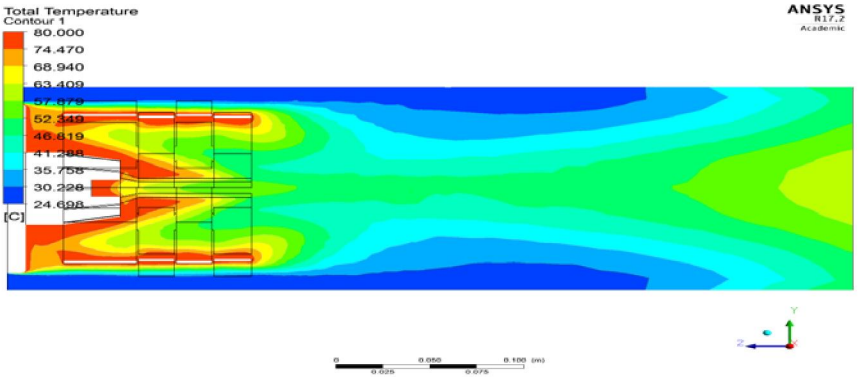


Рис. 4. Распределение температур в исследуемой области

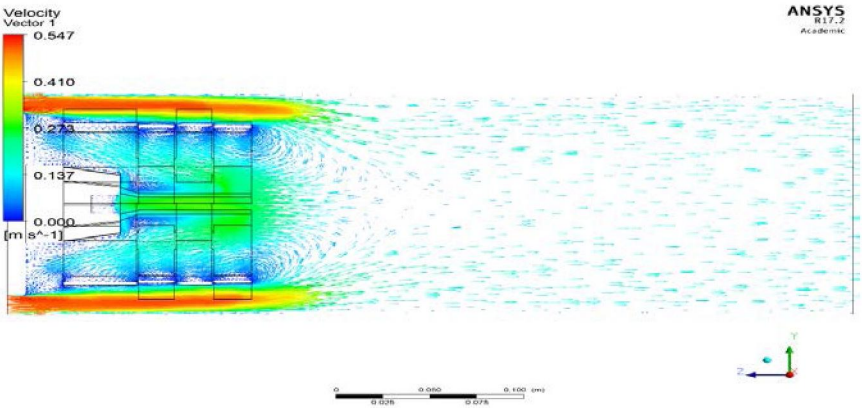


Рис. 5. Распределение векторов скоростей исследуемой области

В результате проведенных исследований по тематике интенсивности тепловых процессов поставленная цель-исследование тепловых характеристик оребренных поверхностей при естественном и принудительном воздушном охлаждении, определение наиболее интенсифицирующей поверхности путем проведения экспериментов наряду с использованием результатов программно-инженерного комплекса была выполнена. Было определено, что поверхность с коцентрическими разрезными ребрами является наилучшим интенсификатором, а тепловые показатели по теплоотдаче и числам подобия Нуссельта являются более высокими у вынужденно-конвективой системы по сравнению с системами естественной конвекции.

Дальнейшим направлением работы может стать нахождение обобщенных зависимостей исследуемых процессов интенсификации теплоотдачи.

Список литературы

1. Афанасьев В.Н., Бурцев С.А., Егоров К.С., Кулагин А.Ю. Цилиндр в пограничном слое плоской пластины // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение», №2/2011, ISSN 0236-3941, с. 3-22.

2. Кунтыш В.Б., Сухоцкий А.Б., Яцевич А.В. Тепловая эффективность вихревой интенсификации теплоотдачи газового потока при продольном и поперечном обтекании круглотрубных поверхностей. Часть 1// Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. №3[9]/2015, с. 68-75

3. Овсянник А.В., Дробышевский Д.А., Гуриков Д.А. Теплообмен при кипении фреона 134А на гладких технически шероховатых поверхностях с обобщением экспериментальных данных. // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О.Сухого, №4 (27)/2006, с. 49-55.

4. Allan Kraus, Avram Bar-Cohen, Abhay A. Wative. Cooling Electronic Equipment, Chapter 11 //Mechanical Engineers' Handbook: Energy and Power, Volume 4, Third Edition, Edited by Myer Kutz, pp.371-420

5. Лопатин А.А., Николаева Д.В. Исследование возможностей разрезного оребрения в системах охлаждения радиоэлектронного оборудования // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики АНТЭ-2015:Международная научно-техническая конференция,19-21 октября 2015г.Сборник докладов.Казань:Изд-во «Бриг», 2015 — 754с., с.586-592

INTENSIFICATION OF HEAT PERFORMANCE IN COOLING SYSTEMS OF RADIOELECTRONIC EQUIPMENT

Nikolaeva D.
Scientific adviser: A. Lopatin, associate professor, Ph.D.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

A method for intensifying heat transfer in air free and forced convective systems is presented. The efficiency of smooth, lunar and split fins is compared. The results of the processing of experimental data and the calculation algorithm in software complexes.

УДК 536.8

РАСЧЕТ НАГРЕВА ТОПЛИВА В ТОПЛИВОМАСЛЯНОМ РЕГУЛЯТОРЕ ТРД

Нуждин А.А.
Научный руководитель: А.В. Бакланов, к.т.н, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Приводится конструкция топливомасляного радиатора (ТМР). Разработана методика расчет подогрева топлива в (ТМР) и определение температуры масла на входе и на выходе из ТМР в ТРД с учетом экспериментальных данных. Расчет произведен для различных режимов работы двигателя.

Топливомасляный радиатор (рис. 1) служит для охлаждения масла, выходящего из двигателя. Охлаждение масла производится топливом, поступающим после насоса-регулятора. Радиатор состоит из двух секций *8*, которые жестко связаны между собой коллекторами *9* и соединительным патрубком. Каждая секция радиатора состоит из сот, установленных в корпусе. Внутри секций имеются перегородки, которые изменяют направление движения масла. Горячее масло из центрифуги через штуцер входа 1 и коллектор поступает в межтрубную полость одной из секций радиатора, затем проходит во вторую секцию и в охлажденном состоянии через штуцер *6* направляется в нагнетающий насос.

Одновременно холодное топливо через штуцер *4* входа поступает во входную полость радиатора, отбирает тепло от масла, затем проходит во вторую секцию и в подогретом состоянии направляется через штуцер *2* в топливную магистраль двигателя.

В случае повышения гидравлического сопротивления масляной или топливной полостей часть масла или топлива перепускается через клапаны *3* и *5* непосредственно на выход из радиатора.

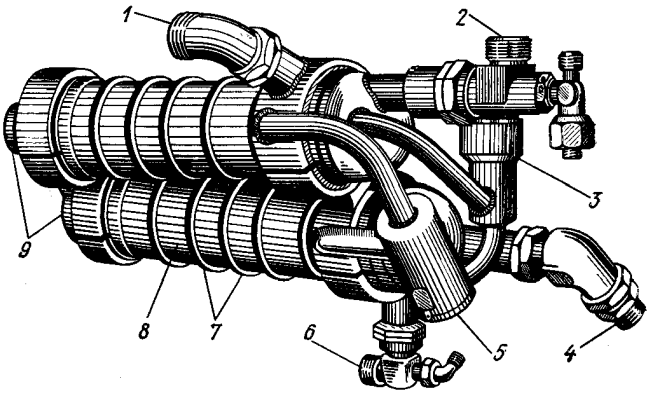


Рис. 1. Топливомасляный радиатор:
1—штуцер входа масла; 2—штуцер выхода топлива; 3—перепускной топливный клапан; 4—штуцер входа топлива; 5—перепускной масляный клапан; 6—штуцер выхода масла; 7—ложемент; 8—секция; 9—коллектор

Исходные данные:

- Режим полета (взлетный, номинал, $0{,}85N$; $0{,}6N$;);
- Высота полета ($h = 0, 4, 8, 12$ *км*);
- Скорость полета ($v = 750$ *км* / *ч*);
- Задается температура топлива на входе в двигатель – $t_{Tвх}$;
- Задается температура окружающего воздуха $t_{нв}$ соответственно на высоте полета и температуре воздуха на земле;
- Задается расход масла через двигатель $G_м = 70$ *кг* / *мин* ;

Определяется:

1. Расход топлива через двигатель;
2. Определяется величина $A_{вх} = f(G_т, G_м)$;
3. Для заданной высоты полета и режима работы двигателей определяется теплоотдача в масло – Q ;
4. Соответственно для режима и высоты полета определяется величина $[\Delta t_{вх.нд} + \Delta t_{н.р}]_{экс}$;

5. Определяется первоначальная величина разности температур $\Delta t_{вх.нд}$: $\Delta t_{вх.нд} = A_{вх} \cdot Q$;

6. Находится разность в значениях температуры масла $\Delta t_{Mвх}$:

$$\Delta t_{Mвх} = \Delta t_{вх.нд} - [\Delta t_{вх.нд} + \Delta t_{н.р}]_{экс};$$

7. По $\Delta t_{м.вх}$ определяется коэффициент теплоотдачи $\overline{Q}$:

$$\overline{Q} = -0.01(\Delta t_{Mвх}) + 1;$$

8. Определяется новое значение теплоотдачи Q':

$$Q' = Q \cdot \overline{Q};$$

9. Расчет повторяется до совпадения предыдущего и последующего значения теплоотдачи Q' с точностью до $\left|Q'_{i-1} - Q'_i\right| \le 1.0$;

10. Определяется температура масла на входе в ТМР - $t_{Mвх}$:

$$t_{Mвх} = t_{Tвх} + t_{вх};$$

11. По $\Delta t_{Mвх}$ определяется теплоемкость масла:

$$C_{Pм} = 0.001052 t_{Mвх} + 0.420;$$

12. Определяется температура масла на входе из ТМР - $t_{Mвых}$:

$$t_{Mвых} = t_{Mвх} - \frac{Q'}{C_{Pм} \cdot G_м};$$

13. Определяется средняя температура масла:

$$t_{Mср} = \frac{t_{Tвх} + t_{Tвых}}{2};$$

По $t_{Mср}$ уточняется значение теплоемкости $C_{Pм}$;

14. Уточняется температура масла на входе;

15. Расчет повторяются до точности $\left|C_{Pм_{i-1}} - C_{Pм_i}\right| \le 0.001$;

16. По известной температуре топлива на входе в двигатель определяется теплоемкость топлива:

$$C_{PT} = 0.001009 t_T + 0.453;$$

17.Определяется температура топлива на выходе из ТМР - $t_{Твых}$:

$$t_{Твых} = t_{Твх} + \frac{Q' \cdot 60}{C_{PT} \cdot G_T};$$

18.Определяется средняя температура топлива:

$$t_{Тср} = \frac{t_{Твх} + t_{Твых}}{2};$$

19.По $t_{Тср}$ определяется C_{PT};

20.Уточняем значение $t_{Твых}$;

21.Расчеты повторяются до точности $\left|C_{PT\,i-1} - C_{PT\,i}\right| \le 0.001$.

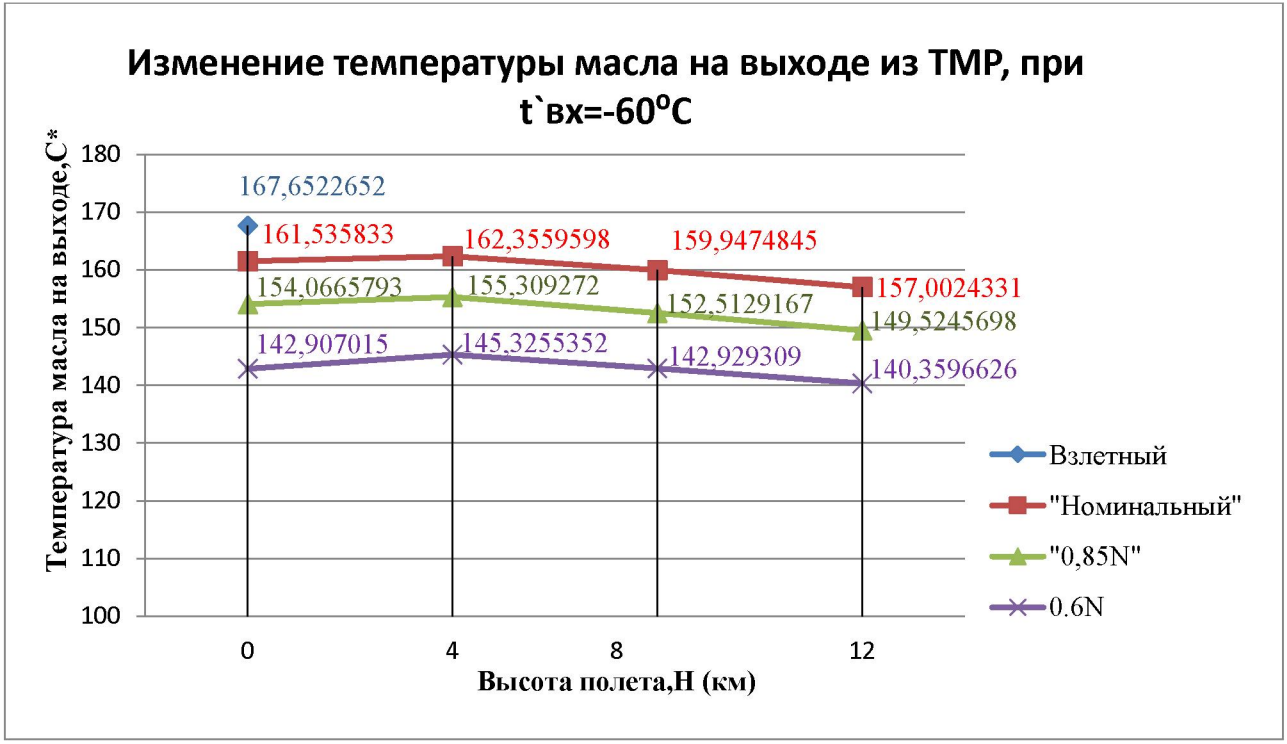
В соответствии с разработанной методикой осуществляем расчет нагрева масла на следующих режимах работы ТРД:

1. взлетный
2. номинальный
3. 0,85N
4. 0,6N

А так же на различных высотах полета (Нп):

1. 0 км
2. 4 км
3. 8 км
4. 12км

На (графике 1) показаны данные характеристики, откуда видно, что с увеличением высоты полета температура масла снижается, а с увеличением режима происходит увеличение температуры.


Изменение температуры масла на выходе из ТМР, при t`вх=-60°С
Температура масла на выходе,С*
180
170
160
150
140
130
120
110
100
0
4
8
12
Высота полета,Н (км)
167,6522652
161,535833
162,3559598
159,9474845
157,0024331
154,0665793
155,309272
152,5129167
149,5245698
142,907015
145,3255352
142,929309
140,3596626
Взлетный
"Номинальный"
"0,85N"
0.6N

Список литературы

1. Маркушин А.Н., Бакланов А.В. Испытательные стенды для исследования процессов и доводки низкоэмиссионных камер сгорания ГТД .

2. Вестник Самарского ун-та. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2013. № 3. С. 131–138.

3. Тимофеев Н.И. Конструкция и летная эксплуатация двигателя НК-8-2У. М., «Машиностроение», 1978г.

4. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. М.: Едиториал КРСС, 2003. 784 с.

CALCULATION OF FUEL HEATING IN THE FUEL-OIL REGULATOR OF TURBOJET

Nuzhdin A.
Supervisor: A. Baklanov, Cand. Sc. (Eng.), Docent
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The structure of the fuel-oil radiator (FOR) is given. A method has been developed to calculate fuel heating in (FOR) and to determine the temperature of the oil inlet and exit from FOR to turbojet, taking into account experimental data. The calculation is made for the different engine modes.

УДК 621.18

РАЗРАБОТКА ИНЖЕКЦИОННОЙ ГОРЕЛКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТЫХ РАБОТ

Осипова А.А., Накоряков П.В., Ситников О.Р.
Научный руководитель: Г.И. Павлов, доктор технических наук, профессор
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Статья посвящена разработке переносной инжекционной горелки, предназначенной для проведения ремонтных работ. В статье описаны недостатки серийно выпускаемых инжекционных грелок, приведена конструктивная схема новой горелки, подробно описан принцип ее работы. Приведены результаты опытов по сжиганию пропана, а также, определены основные сравнительные характеристики горелки.

В жилищно-коммунальном хозяйстве, в дорожном строительстве, при ремонте техники и в других целях используются горелки инжекционного типа. Инжекционные горелки, в которых воздух подсасывается (инжектируется) за счет энергии газовых струй, выходящих из одного или нескольких сопел, широко применяются в промышленности вследствие экономичности, надежности в работе и простоты конструкции. Преимуществами горелок этого типа являются возможность работы без вентиляторного дутья и способность при определенных условиях поддерживать с достаточной точностью постоянство соотношения газ — воздух при изменении режима работы (нагрузки). Это значительно упрощает автоматическое и ручное регулирование процесса. Инжектор и сопло являются основными элементами инжекционной горелки. Сопло, как правило, располагается на одной оси с осью инжектора. Расстояние от сопла до камеры смешения регулируют передвижением сопла с таким расчетом, чтобы можно было обеспечить заданный расход горючего газа. На рынок РФ поставляется ряд переносных инжекционных горелок. На рисунке 1 приведен общий вид инжекционной горелки серийного производства.

Рис. 1. Инжекционная горелка серийного производства

К основным недостаткам существующих инжекционных горелок относятся неполнота сгорания и длинный факел пламени, особенно, если увеличить масштаб горелок. Вышеописанные недостатки ограничивают область применения таких горелок. Авторы статьи предлагают новую конструктивную схему горелки инжекционного типа. Подробное описание и принцип ее работы приведено ниже.

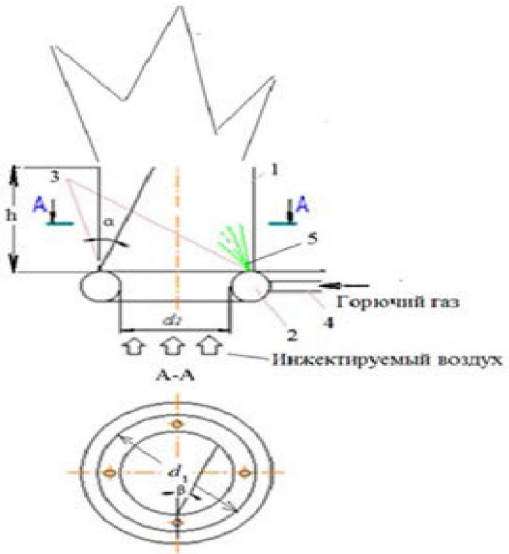


Рис. 2. Схема инжекционной горелки
1-трубчатый корпус; 2- газовый коллектор; 3- наклонные сопла;
4- патрубок для подвода газа; 5- газовые струи

Инжекционная горелка (Рис. 2) содержит трубчатый корпус с газовым коллектором. К газовому коллектору прикреплен патрубок подвода газа. В верхней части газового коллектора расположены наклонные сопла, оси которых при пересечении с радиусом трубчатого корпуса образуют угол 22-25°, а при пересечении с продольной осью трубчатого корпуса – 40-45°. Нижний торец трубчатого корпуса соединен с газовым коллектором. Соотношение внутреннего диаметра трубчатого корпуса к внутреннему диаметру газового коллектора составляет от 1,1 до 1,2, причем высота трубчатого корпуса равна его внутреннему диаметру.

Горелка работает следующим образом. Горючий газ по патрубку 4 подается в газовый коллектор 2 и истекает по четырем соплам 3 в полость трубчатого корпуса 1 (см. фиг.2). Оси сопел расположены под углом 22-250 к радиусу трубчатого корпуса 1, а при пересечении с осью трубчатого корпуса образуют угол 40-45°. Газовые струи 5, истекающие в полость трубчатого корпуса 1, под определенными углами, закручивают газо-воздушную смесь, тем самым интенсифицируя тепло - и массообменные процессы. Полнота сгорания газо-воздушной смеси достигается за счет инжекции необходимого количества воздуха и качественного смешения горючего газа с воздухом. Далее продукты сгорания горючего газа истекают в топочное пространство теплового агрегата или в атмосферу. Начальные участки газовых струй защищены от воздушного потока внутренними стенками коллектора, что обеспечивает устойчивое горение газо-воздушной смеси при работе на малых расходах и в условиях разрежения. При этом высота трубчатого корпуса равна его диаметру. Это равенство обеспечивает необходимый коэффициент инжекции воздуха для полного сгорания горючего газа, так как сопротивление такого трубчатого корпуса по сравнению с длинным трубчатым корпусом существенно уменьшается. Конструкция позволяет устранить запирание инжекционного смесителя при работе горелки на больших расходах горючего газа. Предлагаемый инжекционный смеситель горелки позволяет повысить коэффициент инжекции воздуха, устранить срыв пламени в условиях разряжения или при работе на малых расходах горючего газа, что обеспечивает эффективность работы инжекционного сме-

сителя горелки в целом. Для апробирования предложенной конструктивной схемы разработана модель горелки, характеристики которой определены опытным путем. В качестве рабочего топлива использовался горючий газ - пропан. Установлено, что при прочих равных условиях температура продуктов сгорания пропано-воздушной смеси на выходе из смесителя равна 1600 ^{0}C, когда как у серийных инжекционных горелок она не превышает 900 ^{0}C. У вновь созданной горелки пламя прозрачное без видимых цветов. Горелка устойчиво работает в широком диапазоне тепловой мощности. Устойчивое горение сохраняется на малых расходах.

С целью исследования влияния масштабного коэффициента на эффективность работы горелки изготавливались две модели других геометрических размеров. Экспериментально установлено, что в качестве масштабного коэффициента необходимо использовать соотношение диаметра сопла к внутреннему диаметру газового коллектора. Общий вид работающих моделей инжекционных горелок приведен на рисунке 3. Видно, что на срезе трубчатого корпуса каждого из моделей не видны следов сажистого горения – пламя прозрачное. Максимальная тепловая мощность испытанных моделей соответствуют величинам: 25 кВт, 55 кВт, 80 кВт. Установлено, что все испытанные модели устойчиво работают в широком диапазоне расхода топлива.

GAS FUEL EQUIPMENT FOR ENVIRONMENTAL CLEANING OF GASEOUS HYDROCARBONS IN THE REPAIR OF MAIN PIPELINES

Osipova A., Nakoryakov P., Sitnikov O.
Supervisor: G. Pavlov Doctor of Technical Sciences,Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The article is devoted to the development of a portable injection torch designed for repair work. The article describes the shortcomings of the serially produced injection heaters, the design of the new burner, the detailed description and the principle of its operation are given. The results of experiments on

burning propane are given, and also the main comparative characteristics of the burner are determined.

УДК 669.245

СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Приказчиков Е.А.
Научный руководитель: С.С Самохина, к.п.н., доцент, профессор РАЕ
(Ульяновский институт гражданской авиации имени главного маршала авиации Б.П. Бугаева, г. Ульяновск)

В работе предлагается способ нанесения жаропрочного сплава на основе вольфрама для увеличения надежности мест соединения каналов подачи воздуха и топлива с камерой сгорания и снижения рисков возникновения отказов и нарушений в работе силовой установки воздушного судна.

При выполнении полетов в топливной системе воздушного судна возможно возникновение условий для формирования нестационарных процессов, корректировка которых приводит к увеличению нагрузки на элементы топливной системы и двигателя.

Сложные эксплуатационные условия, к которым следует отнести режимы переизбытка и недостатка топлива в камере сгорания в большинстве случаев формируются во время взлета и посадки, различных маневров из-за возрастания продольных ускорений при движении топлива в топливопроводной магистрали.

Эксплуатация двигателя в режиме переизбытка топлива в камере сгорания приводит к смещению горения из камеры сгорания в зону пониженного давления – канал подачи топлива. Это может вызвать привести к прогару в месте соединения топливопроводной магистрали и камеры сгорания, что может вызвать пожар двигателя и разрушение силовой конструкции самолета.

В режиме недостатка топлива при избыточном давлении в топливопроводной магистрали происходит формирование турбулентного течения с участием паров топлива и противотока топлива перед входом в камеру сгорания. Система управления двигателем

увеличивает объем подачи топлива для компенсации его нехватки, а также объем подачи воздуха. При этом в канале подачи воздуха образуется область пониженного давления, где существует вероятность формирования очага воспламенения при избытке паров топлива. В подобных условиях эксплуатации нарушается целостность поверхности воздушного канала.

Для изготовления каналов подачи воздуха и топлива используется сталь марки 45. Для укрепления мест соединения каналов с камерой сгорания и повышения термостойкости стальные трубки армированы алюминием. Однако, температура в местах соединения не должна превышать 1150 °С. При этом рабочий диапазон температур в камере сгорания составляет 2000-2500 °С. Из-за высокой разности температур внутри камеры сгорания и мест соединения с ней в каналах подачи топлива и воздуха возникает эффект коробления и в дальнейшем - прогары.

Наиболее простой и эффективный способ предотвращения изменений поверхностей металла каналов подачи топлива и воздуха – нанесение износостойкого и жаропрочного материала на основе вольфрама.

С учетом условий длительной эксплуатации в агрессивной среде (воздействие авиационного керосина) предлагается использовать износостойкий термоустойчивый композитный материал на основе вольфрама с цирконием. Он выдерживает температуры до 2600°С, что соответствует рабочим температурам внутри камеры сгорания. В качестве способа нанесения сплава предполагается использовать метод лазерной наплавки и дальнейшего донапыления порошковой смеси до требуемой толщины, так как он позволяет максимально точно нанести порошкообразный материал и равномерно распределить его тонким слоем по поверхности [1].

В производстве автомобилей хорошо зарекомендовал себя метод с восстановления изношенных деталей с применением аддитивных технологий локального воздействия – лазерной наплавки. Из-за уменьшения зоны термического воздействия деформации (коробление) с применением данного способа окажется значительно ниже, чем при традиционной сварке [2].

Список литературы

1. Приказчиков Е.А. Способ улучшения эксплуатационных характеристик элементов авиационных двигателей // Материалы IX Международной молодежной научной конференции.- Ульяновск: ФГБОУ «УИГА им. Б.П.Бугаева», 2017.- С.

2. Ермолаев А.С. Лазерные технологии и процессы при изготовлении и ремонте деталей газотурбинного двигателя / А.С. Ермолаев, А.М. Иванов, С.А. Василенко // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2013. – № 35. – С. 49 – 63.

METHOD OF IMPROVING OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THE FUEL SYSTEM OF THE AIRCRAFT

Prikazchikov E.

Supervisor: S. Samokhina, PhD (Pedag.), Associate professor, Professor of the Russian Academy of Natural Sciences

(Ulyanovsk Institute of Civil Aviation, Ulyanovsk)

This report proposes method of applying high temperature alloy based on tungsten to increase the reliability of connection of the channels supplying air and fuel with a combustion chamber. This will reduce the risk of failures and violations in work of power plant of the aircraft.

УДК 536.24

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ ЗА ПОЛУСФЕРИЧЕСКОЙ ВЫЕМКОЙ ПРИ ВЫДУВЕ ИЗ НЕЕ ВОЗДУХА

Рыбаков А.С., Ерзиков А.М., Иванов С.Н.
Научные руководители: А.В. Ильинков, канд. техн. наук,
В.В. Такмовцев, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Экспериментально получено, что вдув воздуха из области эпицентров крупномасштабных вихревых структур полусферической выемки при параметре вдува, равном 0,5 и значении угла вдува 60° дополнительно увеличивает теплоотдачу в ближнем следе за выемкой в 1,3…1,4 раза по сравнению с теплоотдачей за выемкой без вдува воздуха.

При интенсификации теплообмена сферическими выемками важно знать теплоотдачу не только в выемке, но и на участке последействия. Только в этом случае можно обоснованно назначать плотность их расположения в матрице [1]. Особенно это необходимо для сферических выемок отрывного типа, когда смерчевая структура присоединяется за выемкой на участке $1{,}1\ldots1{,}25d_{\text{сф}}$, где $d_{\text{сф}}$ – диаметр сферической выемки.

Из результатов исследований [2], следует, что при выдуве воздуха из выемок отрывного типа можно повысить равномерность температуры пленки поперек направления основного потока (вдоль ряда выемок) по сравнению с рядом отверстий, выполненных в исходно гладкой поверхности. В данном докладе изложены результаты опытных исследований при интенсификации теплообмена сферическими выемками, у которых отношение глубины к диаметру $h_{\text{сф}}/d_{\text{сф}} = 0{,}5$.

Если рассматривать полусферическую выемку где $h_{\text{сф}}/d_{\text{сф}} = 0{,}5$, то в ней эпицентры самоорганизующихся вихревых структур находятся в передней половине полости на расстоянии около $0{,}25h$

от донной точки [3], а в плане они расположены по отношению к основному направлению потока под углом $\beta \approx 45^{\circ}$.

Известно (см., например, [4]), что за полусферической выемкой теплоотдача возрастает примерно в 1,2 раза по сравнению со стандартным случаем обтекания гладкой стенки.

Следует отметить, что в поперечном направлении (см. работу [5]) теплоотдача за полусферической выемкой неодинакова. Так, при $z/d_{сф} = 0$ и $x/d_{сф} = 0$ она примерно в полтора раза превышает ее значения в стандартных условиях. Далее она снижается при $z/d_{сф} =$ 0,5 до 1,25.

В докладе представлены результаты выполненных авторами исследований теплоотдачи за полусферической выемкой при выдуве из ее полости воздуха.

Установка для проведения экспериментов описана в работе [2] и включала в себя опытный участок, системы подачи основного и вторичного потоков воздуха и измерительное оборудование. Схема исследуемой модели представлена на рис. 1.

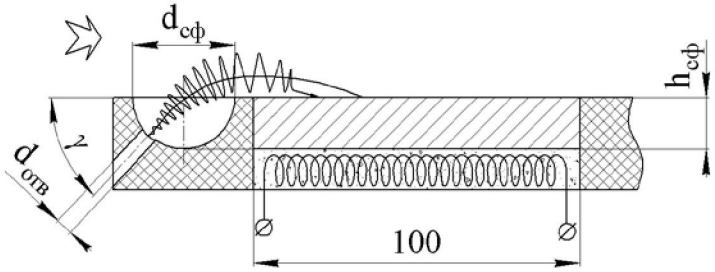


Рис. 1. Продольное сечение нижней стенки модели для исследований теплоотдачи за полусферической выемкой

Диаметр выемки в плане $d_{сф} = 30$ мм; ее глубина - $h_{сф} = 15$ мм. Диаметр отверстия для выдува воздуха из полости выемки $d_{отв} = 5$ мм. Его ось наклонена под углом $\gamma = 60$ градусов к поверхности теплообменной пластины.

Экспериментальная установка имела опытный участок прямоугольной формы 145 х 112 мм.

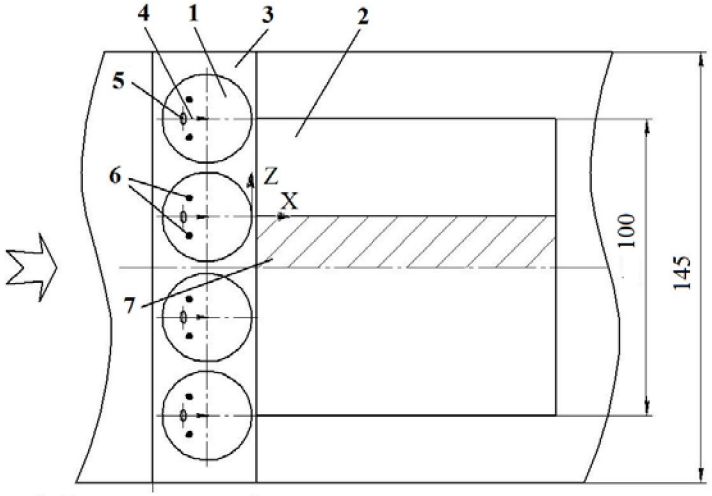


Рис. 2. Расположение объектов исследования в опытном участке: *1*– модель выемки; *2* – теплообменная пластина; *3* – текстолитовый вкладыш, перемещающийся в поперечном направлении z; *4* – направление выдува воздуха в полость выемки из отверстия *5*; *6* – эпицентры самоорганизующихся крупномасштабных вихревых структур; 7 – область проведения визуализационных экспериментов и определения коэффициентов теплоотдачи за выемкой

Коэффициенты теплоотдачи определялась на теплообменной пластине *2* (рис. 1), изготовленной из легированной стали. Ее площадь составляла 100х100 мм, толщина – 15 мм. Метод исследования теплоотдачи - градиентный.

Перед опытной пластиной *2* расположен текстолитовый вкладыш *3* с четырьмя полусферическими выемками *1,* расположенными в поперечном направлении z. Через круглые отверстия 5 (рис.2) вдувался вторичный воздух.

Число Рейнольдса для основного потока $Re_L = (1{,}2…7{,}3)\cdot 10^4$, где L – длина теплообменной пластины. параметр вдува $m = (\rho w)_в/(\rho w)_{осн} = 0{,}5$; диапазон изменения относительной продольной координаты $x/d_{сф}$ составлял 0,2…3,3.

Местный коэффициент теплоотдачи в экспериментах рассчитывался по формуле $\alpha_{xi} = q_{xi}/(T_{возд}-T_{ст})$, Вт/м^{2}К,

где q_{xi} –локальное значение плотности теплового потока на i-м расчетном элементе.

Средний коэффициент теплоотдачи рассчитывался по формуле $\alpha_{ср} = (1/F)\int\alpha df$,

где F – площадь поверхности теплообменной пластины.

Коэффициент теплоотдачи α_0 без выдува воздуха из выемки на исходно гладкой поверхности для турбулентного пограничного слоя рассчитывался по формуле М.А. Михеева:

$$Nu_{x.0} = 0{,}0376\ Re_x^{0,8} Pr^{0,43}.$$

Дымовая визуализация течений шелковинками при выдуве воздуха через выполненные в моделях полусферических выемок отверстия показали, что при $\gamma = 60^{\circ}$ вихревые структуры взаимодействуют со струей выдуваемого из полости воздуха в виде единого газодинамического тела. Поэтому выдуваемый из отверстия воздух присоединяется к поверхности за выемкой в дискретном по времени режиме, что может способствовать увеличению теплоотдачи в этой области.

Результаты замеров теплоотдачи представлены на рис. 3, а условные обозначения приведены в таблице.

Таблица

Условные обозначения

Вдув через отверстия ПСВ				
$z/d_{сф}$	0	0,17	0,33	0,5
обозначение	◇	□	△	○

Анализ экспериментальных данных показал (рис. 3), что за полусферической выемкой теплоотдача выше, чем без выдува воздуха из выемки $Nu_{x.вд.сф}$ примерно на 45…65% при Re = idem. Если осреднить поле локальных значений за выемкой, то $(Nu_{x.вд.сф}/Nu_{x.сф})_{Re} \approx 1{,}3\ldots1{,}4$.

Из рис. 3 также следует, что при $(x/d_{сф}) \approx 2{,}5$ распределение полученных относительных коэффициентов теплоотдачи имеет максимум. По-видимому, в этой области выдуваемый воздух и самоорганизующаяся вихревая структура присоединяются к исходно гладкой поверхности.

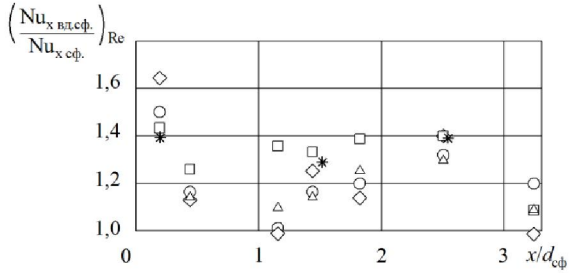


Рис. 3. Влияние вдува воздуха через отверстия в ПСВ на теплоотдачу на участке ближнего следа (условные обозначения см. в таблице); ∗– оценка влияния вдува с использованием данных ($Nu_{x.сф}/Nu_{x.0}$) из работы [6]

Выполненная работа инициирована результатами исследований [7].

Список литературы

1. Гортышов Ю.Ф., Попов И.А., Щелчков А.В., Рыжков Д.В. Теплогидравлические характеристики теплообменных аппаратов с поверхностной интенсификацией теплообмена в виде сферических выемок и выступов // Тепловые процессы в технике. 2009.№3. т.1.С. 102-108.

2. Щукин А.В., Буланов И.Ю., Ильинков А.В., Козлов А.П., Халатов А.А. Особенности тепловой завесы вдувом воздуха из сферической выемки // Изв. вузов. Авиационная техника. 2004. №4.С.28-31.

3. Кесарев В.С., Козлов А.П. Структура течения и теплообмен при обтекании полусферического углубления турбулизированным потоком воздуха// Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. 1993.№1.С.106-115.

4. Щукин А.В., Козлов А.П., Агачев Р.С., Дезидерьев С.Г., Бодунов К.М. Конвективный теплообмен за полусферической выемкой в диффузорном канале // Изв. вузов. Авиационная техника.1994. №4. С. 24-30.

5. Терехов В.И., Калинина С.В. Мшвидобадзе Ю.М. Экспериментальное исследование развития течения с полусферической

каверной // Сибирский физико-технический журнал. 1992. Вып.1. С.77-85.

6. Волчков, Э.П., Калинина С.В., Матрохин И.И. и др. Некоторые результаты экспериментального исследования аэродинамики и теплообмена на поверхности с полусферическами кавернами // Сб. физ.-техн. журн. 1992. Вып.5. С. 3-9.

7. Халатов А.А., Борисов И.И., Коваленко А.С., Дашевский И.Я., Шевцов С.В. // Эффективность пленочного охлаждения плоской поверхности системой наклонных отверстий, расположенных в сферических углублениях // Промышленная теплотехника.2012. т. 34. №3. С.5-12.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER BEHIND HEMISPHERICAL RECESS AT AIR INJECTION FROM IT

Rybakov A., Erzikov A., Ivanov S.
Research supervisor: A. Il'inkov, Cand. Tech. Sc.; assoc. prof.
V. Takmovtsev, Cand. Tech. Sc.; assoc. prof.
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

It was experimentally obtained that the air injection from the epicentral region of the large-scale vortex structures of the hemispherical cavity at an injection parameter equal to 0.5 and the value of the blowing angel 60° additionally increases the heat transfer in the near wake behind the recess by 1.3…1.4 times compared to the heat transfer behind the recess without air injection.

УДК 621.577.012

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННОГО ОБЪЕКТА

Садреев И.М.
Научный руководитель: Р.Х. Гумерова, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной статье приводится обоснование понятия теплового насоса. Сравнение теплового насоса с другими источниками альтернативной энергии для отопления помещения.

Тепловой насос - это комплекс взаимосвязанных элементов, в которых рабочее вещество осуществляет обратный термодинамический цикл. Тепловой насос является полным аналогом холодильной машины по процессам и по принципу действия. Серийно выпускаемая холодильная машина может работать в режиме «тепловой насос» без какой-либо конструкторской доработки [1, стр. 73].

Принцип действия и конструкция теплового насоса идентичны холодильной машине и установке для кондиционирования воздуха (кондиционеру), в этих устройствах различна лишь задача: холодильники и кондиционеры используются для охлаждения, а тепловые насосы – для нагрева. Из-за одинаковой конструкции бытовые кондиционеры часто могут выполнять и функции теплового насоса, в так называемом режиме обогрева.

Принцип действия теплового насоса основан на отдаче и поглощении теплоты рабочего агента «хладагента» в цикле при периодическом переходе его из одного состояния в другое.

Тепловые насосы по виду рабочего агента разделяются на три типа: парокомпрессионные, абсорбционные и термоэлектрические.

В парокомпрессионных тепловых насосах (рис. 1) используется теплота испарения и конденсации хладагента, которым обычно являются фреоны.

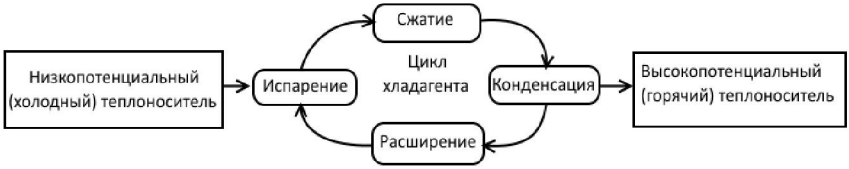


Рис. 1. Цикл парокомпрессионного теплового насоса

В абсорбционном тепловом насосе в качестве рабочего тела используется смесь хладоагента с его раствором в жидкости, имеющей более высокую температуру кипения.

Термоэлектрические тепловые насосы используют эффект возникновения электрического тока при нагреве спаев разнородных металлов и обратный эффект охлаждение спаев при пропускании через них электрического тока [2, стр. 9].

Эффективность тепловых насосов принято характеризовать величиной безразмерного коэффициента трансформации энергии, определяемого для идеального цикла Карно по следующей формуле:

$$K_{\text{ТР}} = \frac{T_{\text{О}}}{(T_{\text{О}} - T_{\text{И}})} \quad (1)$$

где: $T_О$ – температурный потенциал тепла, отводимого в систему отопления или теплоснабжения, К;

$T_И$ - температурный потенциал источника тепла, К.

Реальный коэффициент трансформации отличается от идеального, описанного формулой (1), на величину коэффициента h, учитывающего степень термодинамического совершенства геотермальных теплонасосных систем теплохладоснабжения и необратимые потери энергии при реализации цикла [3, стр. 8].

Использование тепловых насосов в России не столь популярно, в отличие от западных стран, где не так много энергоресурсов, в классическом его понимании. Но развитие технологий, нахождения новых источников энергии и повышения энергоэффективности, а также ограниченность энергоресурсов и повышения цен на них – заставляет задуматься об использовании альтернативных источни-

ков тепла. Тепловой насос является самым экономичным способом обогрева и кондиционирования здания.

Рассмотрим помещение площадью 50 м^2 с хорошей теплоизоляцией, находящееся в центральной части России, которое будем обогревать с помощью теплового насоса. Показатель удельной мощности на 10 м^2 в центральной части России равен 1,3 кВт. Путем несложного вычисления получаем требуемую мощность установки в 6,5 кВт. Также стоит учесть мощность потребляемой энергии на подогрев воды ~45 °С из расчета 50 л на одного человека. Предположим, что в помещении находится 3 человека для которых потребуется дополнительно 1,1 кВт энергии для нагрева воды. Сложим полученные результаты и получим полную требуемую мощность: 7,6 кВт. Округляем в ближайшую большую сторону доступной тепловой установки и получаем: 7,7 кВт. Сравним тепловой насос с газовым, электрическим котлами и котлом на жидком топливе. Для наглядности сравнения способы подачи тепла в помещение сведены в таблицу:

Таблица 1

Сравнительная таблица характеристик отопительных установок

Технические характеристики	Способы подачи тепла в помещение			
	Тепловой насос	Электрический котел	Газовый котел	Котел на жидком топливе
Отапливаемая площадь, м^2	50	50	50	50
Необходимая мощность отопления, кВт	7,7	7,7	7,7	7,7
Расход электрической энергии, кВт*час	1,8	9,2	1,3	2
Расход энергоносителя в год	10000 кВт	48835 кВт	4335 м^3	10000 литров
Источник энергии	Тепло земли	Электричество	Газ	Дизельное топ-

				лио
Взрыво- и пожароопасность	Безопасен	Опасен	Опасен	Опасен
Срок службы	До 50 лет	3-8 лет	15-20 лет	15-20 лет
Возможность охлаждения помещения	Да	Нет	Нет	Нет

Исходя из данных приведенных в табл.1, можно сделать вывод, что на текущий момент тепловые насосы более экономичны по сравнению с дизельными и электрическими котлами, а с дальнейшим ростом цен на энергоресурсы – разница лишь увеличится, возможно даже будут превосходить газовые котлы.

Также, следует отметить что тепловой насос использует для отопления энергию землю – экологически безвредный источник тепла, а значит, он практически безопасен для природы. Помимо экологического фактора, есть и взрыво- и пожаробезопасность.

Срок службы у тепловых насосов гораздо выше, чем у классических тепловых установок, а поэтому это очень долгосрочное вложение, не требующее каких-либо капитальных вмешательств по сроку службу.

Далее, хотелось бы сравнить затраты на покупку оборудования, стоимость эксплуатации, цен на энергию и т.п.

Таблица 2

Сравнительная таблица стоимости отопительных установок

Стоимость	Способы подачи тепла в помещение			
	Тепловой насос	Электрический котел	Газовый котел	Котел на жидком топливе
Оборудование	Высокая	Низкая	Средняя	Средняя
Стоимость эксплуатации	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая
Цена энергии	Бесплатно	Высокая	Средняя	Срелняя
Необходимость	Нет	Нет	Да	Да

экспл. персонала				
Окупаемость	Да	Нет	Нет	Нет

Из данных приведенных в табл.2, не смотря на высокую стоимость оборудования, по сравнению с другими типами отопления, тепловой насос очень дешево обходится в эксплуатации, что является еще одним выгодным фактором для долгосрочного вложения.

Электрический котел, как и тепловой насос не требует наличия эксплуатационного персонала, но за счет стоимости энергии – всё же проигрывает тепловому насосу.

С учетом всех факторов, тепловой насос является очень выгодным долгосрочным вложением, которое окупается в течение 5-7 лет, в отличие от других способов отопления, которые в данные рамки не укладываются.

Учитывая нынешние цены на энергоносители, многие люди уже переходят на тепловые насосы, тем самым делая вклад в свое будущее.

Список литературы

1. Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов [Текст] / Т. В. Морозюк. - Одесса: Студия «Негоциант», 2006. - 712 с.

2. Трубаев П.А., Гришко Б. М., Тепловые насосы [Текст]: учеб. пособие / П. А. Трубаев, Б. М. Гришко. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 142 с.

3. Васильев Г.П., Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли [Текст]: монография / Г. П. Васильев - М.: Издательский дом «Граница», 2006. - 176 с.

USING THE HEAT PUMP FOR AUTONOMOUS ENERGY SUPPLY REMOTE OBJECT

Sadreev I.

Supervisor: R. Gumerova, Candidate of Engineering,
Associate Professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

This article is based on the concept of heat pump. Comparison of the heat pump with other energy sources for heating the room.

УДК 62-978

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОЛОЧЕК ГТД И РАСЧЕТ ТЕПЛООТДАЧИ

Сверчков А.С.
Научный руководитель: А.В. Бакланов, к.т.н, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В статье представлена схема препарирования и экспериментальные данные по определению температурного состояния оболочек ГТД. Рассчитана величина теплоотдачи от двигателя и произведена оценка изменения температуры по длине ГТД.

Для определения температуры оболочек в процессе работы двигателя НК-16СТ выполнено их термометрирование [2].

Установка термопар производилась по длине оболочки двигателя, согласно схеме на рис. 1. Наружная оболочка газогенератора препарировалась 38 термопарами, а также 16 термопарами дополнительно проводилось термометрирование свободной турбины. Регистрация температур выполнялась приборами ЭПП-09 со шкалой 0÷400 °С [3].

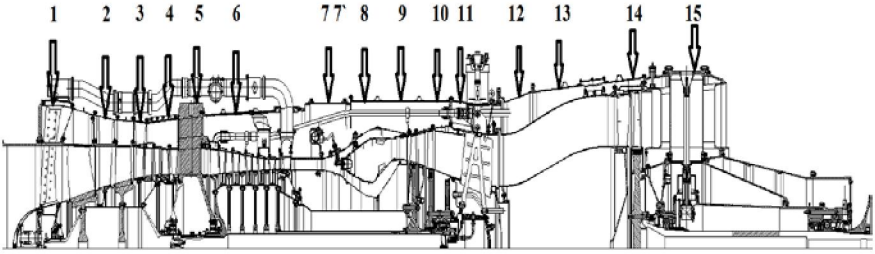


Рис. 1. Схема ГТД с нанесенными термопарами

Измерения температур проводились на следующих мощностях 7; 14,5; 16,5; 18 МВт.

Результаты термометрирования наружных корпусов двигателей приведены на рис. 2.

По каждому сечению вычислены средние значения температур:

$$t_{сеч} = \sum t_i / z, \qquad (1)$$

где z – число термопар в сечении.

Из рис. 2 видно, что распределение температур по длине ГТУ носит возрастающий характер, при этом с увеличением мощности температура увеличивается. Наибольшему нагреву оболочка газогенератора подвергается в зоне лопаток второй ступени турбины (сечение 10), а на оболочке свободной турбины в зоне лопаток соплового аппарата (сечение 14).

На этих режимах температуры, осредненные по площади поверхности газогенератора и свободной турбины и двигателя в целом, определенные по соотношению

$$t_{ср} = \frac{\sum_i F_i \cdot t_{сеч}}{\sum F} \qquad (2)$$

где $\sum F$ -суммарная площадь оболочек газогенератора или свободной турбины, F_i площадь участка на котором расположены термопары.

составляют:

$t_{гг.ср.пр.} = 144 \; и \; 153{,}5$ °С;

$t_{ст.ср.пр.} = 267 \; и \; 290$ °С;

$t_{двиг.ср.пр.} = 194 \; и \; 209$ °С.

На режиме, соответствующем мощности 16 МВт, осредненные по площади поверхности температуры оболочек газогенератора и свободной турбины при стандартных атмосферных условиях составляют: $t_{гг}$=144 °С, $t_{ст}$=267 °С.

Температура воздуха в боксе $t_в$ = 15 °С. Средние значения диаметров и площадей оболочек газогенератора и свободной турбины равны [4]: $d_{гг}$ = 1,35 м, $d_{ст}$ = 1,57 м; $F_{гг}$ = 12,63 м^2; $F_{ст}$ = 7,47 м^2;

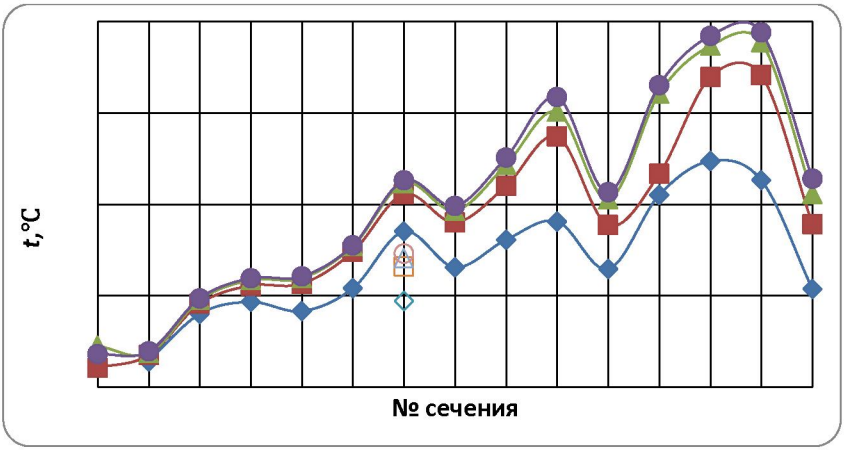


Рис. 2. Изменение температур оболочек двигателя в зависимости от оборотов ротора низкого давления:
$n_{НД}$: ♦ – 4660, ■ – 5200, ▲ – 5350, ● – 5400, ◊ – 4660(7'),
□ – 5200(7'), △ – 5350(7'), ○ – 5400(7')

Теплоотдача от двигателя в окружающее пространство происходит конвективным способом и излучением. Для расчета теплоотдачи конвенцией, необходимо знать физические параметры воздуха в боксе, где работает двигатель:

- коэффициент теплопроводности $\lambda = 2{,}55 \cdot 10^{-2}$ Вт/м град;
- кинематическая вязкость $\nu = 14{,}6 \cdot 10^{-6}$ м^2/с;
- число Прандля $P_г = 0{,}70$.

Критерий Грасгофа определяется при помощи уравнения [5]:

$$Gr = \beta d^3 g\left(t_{дв} - t_в\right)\Big/\nu^2 \qquad (3)$$

где β – температурный коэффициент объемного расширения теплоносителя; d – определяющий характерный размер поверхности теплообмена; g – ускорение свободного падения; $t_{дв}$ – температура поверхности тела (оболочки двигателя или свободной турбины); $t_в$ – температура теплоносителя (воздуха в боксе);

При данных условиях Критерий Грасгофа составил:

- для газогенератора $G_{vгг}$=5,07 х 10^{10};

• для свободной турбины $G_{уст}$=1,56х 10^{11};

Критерий Нуссельта определяется при помощи уравнения:

$$Nu = 0{,}5\left(Gr\,\mathrm{Pr}\right)^{0,25} \qquad (4)$$

• для газогенератора $N_{игг}$ = 217;

• для свободной турбины $N_{ист}$ = 287

Коэффициент теплоотдачи конвекцией:

$$\alpha_{конф} = Nu\,\lambda/d \qquad (5)$$

• для газогенератора $\alpha_{конв.гг}$=4,1 Вт/м^2 град;

• для свободной турбины $\alpha_{конв.ст}$=4,66 Вт/м^2 град;

Для расчета теплоотдачи излучением необходимо знать степень черноты поверхности оболочки двигателя $E_{дв}$=0,435.

Эффективная степень черноты оболочки определяется по следующей формуле:

$$E'_{дв} = 0{,}5(E_{дв} + 1) \qquad (6)$$

Степень черноты газа $\mathrm{E}_{д}$ = 0,1.

Коэффициент излучения абсолютно черного тела C_0=5,7 Вт/м^2 град.

Коэффициент теплоотдачи излучением определяется при помощи уравнения:

$$\alpha_{изл} = \frac{\mathrm{E}'_{дв}\mathrm{E}_{д}C_0\left[\left(\frac{T_{дв}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{в}}{100}\right)^4\right]}{T_{дв} - T_{в}}, \qquad (7)$$

где $T_{дв}$ -температура оболочки двигателя или свободной турбины, °К; $T_{в}$ -температура воздуха в боксе где установлен двигатель, °К.

Из расчета по формуле (7) определено:

• для газогенератора $\alpha_{изл.гг}$=0,74 Вт/м^2 град;

• для свободной турбины $\alpha_{изл.ст}$=1,26 Вт/м^2 град;

Суммарная теплоотдача от двигателя:

$$Q_{дв} = \left(\alpha_{конв.ГТ} + \alpha_{изл.ГТ}\right)\cdot\left(t_{ГТ} - t_{в}\right)\cdot F_{ГТ} + \left(\alpha_{конв.СТ} + \alpha_{изл.СТ}\right)\cdot\left(t_{СТ} - t_{в}\right)\cdot F_{СТ} \qquad (8)$$

Которая составила 16323ккал/ч =189840Вт

Выводы

Температура наружных поверхностей двигателя не превышает 330 °С для газогенератора и 350 °С для свободной турбины.

Полученная в результате расчета величина теплоотдачи от двигателя не превышает предельно допустимой величины 35000 ккал/час (40705Вт).

Список литературы

1. Маркушин А.Н., Меркушин В.К., Бышин В.М., Бакланов А.В. Технические решения по снижению NOx в традиционной камере сгорания ГТД НК-16СТ. Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2009. № 3-1(19), с. 291–297.

2. Маркушин А.Н., Бакланов А.В. Исследование рабочего процесса камер сгорания в составе ГТД. Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2016. Т. 15, № 3. с. 81-89.

3. Маркушин А.Н., Бакланов А.В. Испытательные стенды для исследования процессов и доводки низкоэмиссионных камер сгорания ГТД. Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2013. №3, с. 131-138.

4. Гриценко Е.А., Данильченко В.П., Лукачев С.В. и др. Конвертирование авиационных ГТД в газотурбинные установки наземного применения. – Самара: СНЦ РАН, 2004. – 266 с.

5. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. – М: Едиториал КРСС, 2003. – 784 с.

DETERMINATION OF THE TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF THE TBG SHELLS AND CALCULATION OF THE HEAT RETURN

Sverchkov A.
Supervisor: A. Baklanov, c.t.s, docent
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

This article provides a dissect diagram and experimental data for the determination of the temperature condition of GTD shells. Calculates the heat return from the engine and evaluates the temperature change along the length of the GTD.

УДК 62-97/-98

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ АВИАЦИОННЫХ ГТД

Сверчков А.С.
Научный руководитель: Н.П. Великанова, д.т.н, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В статье представлен сравнительный анализ данных, полученных для двух двигателей НК-86 (А86А222016 СУ 2 и А86144049 СУ 3) аэропорт приписки – Пулково, г. Санкт-Петербург. Также проведен анализ зависимости параметров двигателя от температуры окружающей среды.

Объектом исследования в данной работе является серийный двухконтурный турбовентиляторный двигатель НК-86 конструкции ОАО «Самарский научно-технический комплекс им. Н.Д. Кузнецова». Этот двигатель является типичным двигателем гражданской авиации. Эти силовые установки эксплуатируются на российском аэробусе ИЛ-86.

Был проанализирован 171 рейс за период с 24.07.05 по 18.03.06. Как видно из рис.1 основные рейсы осуществлялись при положительных температурах воздуха окружающей среды. Осуществлялся замер следующих характеристик на взлетном режиме: $t_{н\,ср}, N_{вд\,ср}, T_{4\,ср}, T_{6\,ср}$.

Анализ условий эксплуатации был выполнен с применением статистических методов обработки информации в соответствии с рекомендациями справочника [1].

В соответствии с теорией авиационных двигателей [2] параметры их работы в общем случае зависят от температуры и давления атмосферного воздуха, но учитывая, что для двигателей НК-86 давление атмосферного воздуха оказывает влияние на параметры его работы начиная с $P_н > 800$ *мм.рт.ст.*, а такие значения $P_н$ бывают крайне редко, в качестве условий эксплуатации рассматривались данные по температуре атмосферного воздуха при выполнении взлета самолета.

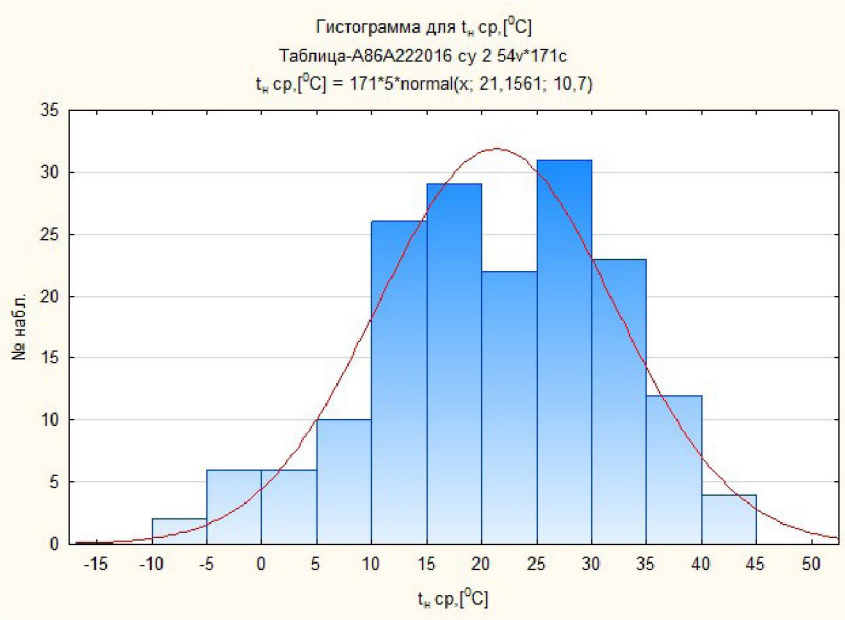


Рис. 1. Гистограмма распределения количества наблюдений от температуры окружающей среды двигателя А86А222016 СУ 2

Результаты анализа температуры атмосферного воздуха для 171 полета представлены в виде гистограммы распределения на рис.1.

Учитывая, что атмосферные условия эксплуатации аэропортов приписки не полностью определяют условия эксплуатации самолетов, т.к. значительная часть полетов совершается в страны жаркого климата, то 31% взлетов самолета совершался при более высоких значениях температуры атмосферного воздуха $T_н$, характерных для Пулково. Интервал рассеяния температуры атмосферного воздуха $T_н$ для изучаемых двигателей составил, таким образом, от -5,9 °С до 41,9 °С.

В качестве параметров работы двигателей НК-86 рассматривались частота вращения ротора высокого давления $n_{вд}$ и температура газа перед турбиной $T_г^*$. Результаты статистической обработки

параметров $t_{н\,ср}$ представлены в виде графика эмпирического распределения величины $t_{н\,ср}$ на рис.2. Для построения графиков эмпирических распределений был использован графический метод [1]. Вид графика эмпирического распределения величины $t_{н\,ср}$ позволяет сделать вывод, что это распределение подчиняется нормальному закону распределения.

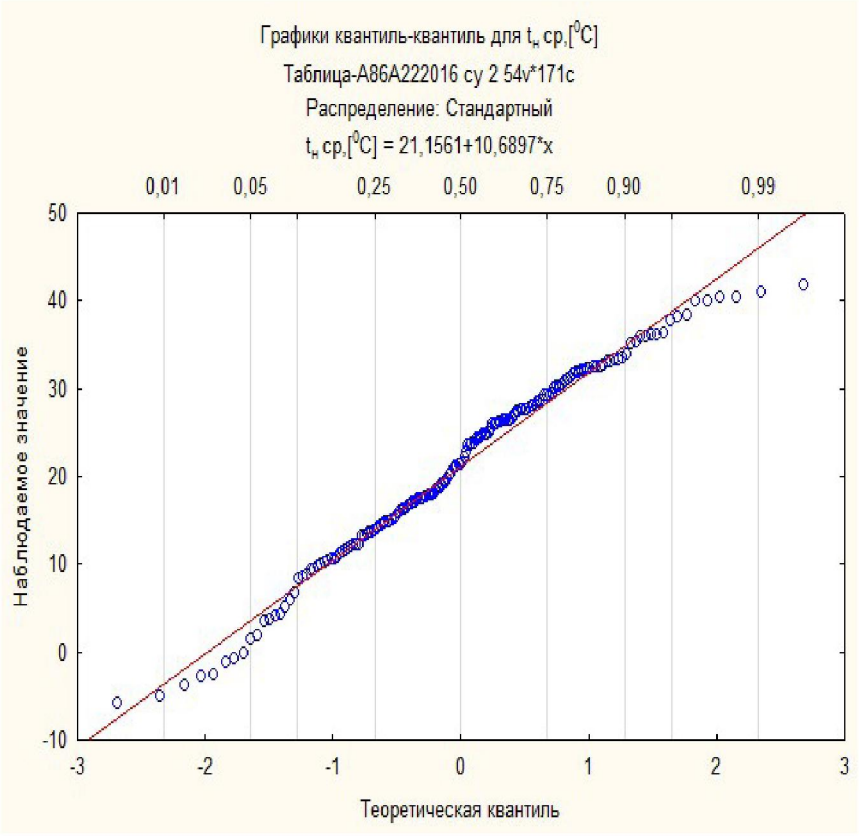


Рис. 2. График эмпирического распределения для $t_{н\,ср}$

Графический метод построения является приближенным. Для более точного определения вида закона распределения $t_{н\,ср}$ использовался критерий Пирсона [1]. В таблице 1 приведены результаты

проверки закона распределения величин $t_{н\,ср}$ по критерию Пирсона. Из приведенных в таблице 1 результатов применения критерия Пирсона следует, что параметры работы двигателей подчиняются нормальному закону распределения.

Таблица 1

№	Границы интервалов X_i		Частота n_i	Координаты границ интервалов $Z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}$		Функция Лапласа $\Phi(\widetilde{z_i})$		Оценка вероятности попадания в интервал, P_i	$n * P_i$	$\frac{(n_i - n * P_i)^2}{n * P_i}$
1	-6	-0,9	6	-∞	-2,06	0	0,01	0,01	3,3	2,05
2	-0,9	4,2	7	-2,06	-1,58	0,01	0,05	0,03	6,3	0,05
3	4,2	9,3	7	-1,58	-1,1	0,05	0,13	0,07	13,4	3,08
4	9,3	14,4	25	-1,1	-0,63	0,13	0,26	0,12	22	0,4
5	14,4	19,5	33	-0,63	-0,15	0,26	0,44	0,17	30,1	0,27
6	19,5	24,6	19	-0,15	0,32	0,4	0,62	0,18	31,6	5,06
7	24,6	29,7	34	0,32	0,79	0,62	0,78	0,15	27,3	1,63
8	29,7	34,8	24	0,79	1,27	0,78	0,89	0,11	19,2	1,15
9	34,8	39,9	10	1,27	1,75	0,89	0,95	0,06	10,5	0,03
10	39,9	45	6	1,75	+∞	0,95	1	0,04	6,8	0,10
∑			171					1	171	13,8

Среднее значение параметров работы двигателей составляют:

$n_{вд1} = 7297{,}57 \frac{об}{мин}$; $T^*_{г1} = 1230{,}29\ К$

$n_{вд2} = 7261{,}46 \frac{об}{мин}$; $T^*_{г2} = 1233{,}84\ К$

Оба двигателя эксплуатировались на одном самолете.

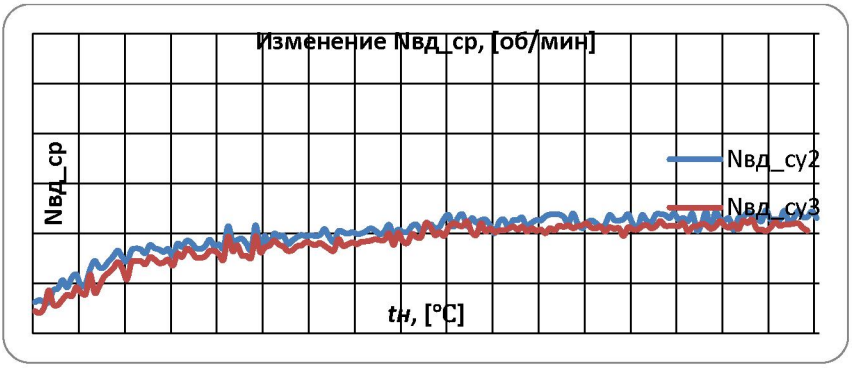


Рис. 3. График зависимости $N_{\text{вд ср}}$ от $t_{\text{ср}}$

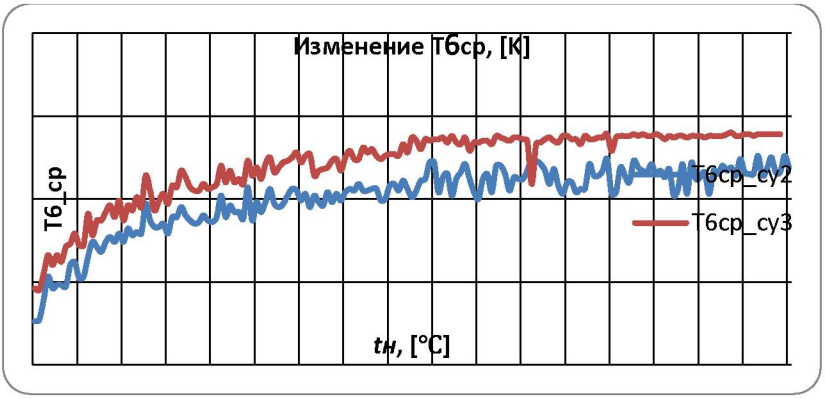


Рис. 4. График зависимости $T_{6\,\text{ср}}$ от $t_{\text{н ср}}$

Из результатов выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. При одинаковых условиях эксплуатации у двигателей, эксплуатирующихся на одном самолете, параметры работы будут различны.

2. Параметры работы двигателей определяют нагруженность их деталей и, соответственно, исчерпание ресурса; следовательно, исчерпание ресурса двигателей зависит от условий эксплуатации.

3. Двигатель с лопатками турбины из монокристаллического литья позволят повысить температуру газа перед турбиной на 20 К.

Список литературы

1. Степнов М.Н. Статистические методы результатов механических испытаний: Справочник: 2-е изд., испр. и доп./М.Н. Степнов, А.В. Шаврин.-М.: Машиностроение, 2005.-400 с.

2. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: Учебник: Кн.3/Под ред В.В. Кулагина.-М.: Машиностроение, 2005.-464 с.

IMPACT OF ATMOSPHERIC OPERATING CONDITIONS ON THE PARAMETERS OF THE OPERATION OF THE TBG

Sverchkov A.
Supervisor: N. Velikanova, d.t.s, professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The article presents a comparative analysis of the data obtained from for of two NK-86 (A86A222016 СУ 2 и A86144049 СУ 3) engines, the Pulkovo airport of St. Petersburg. An analysis of the dependence of engine parameters on ambient temperature was also conducted.

УДК 534-13

ОПЫТЫ С ТЕПЛОВОЙ АВТОГЕНЕРАЦИЕЙ ЗВУКА

Севастьянов Н.Д.
Научный руководитель: А.М. Гаврилов, д.ф.-м.н., доцент
(Южный федеральный университет, г. Таганрог)

Создана установка для изучения эффекта Рийке, экспериментально проверены известные теоретические модели. Исследованы зависимости тепловой мощности, приводящей к генерации звука, от расположения нагревателя и частоты звука от длины трубы.

1. Термоакустические источники звука

Цель работы – создание действующего образца трубы Рийке и исследование особенностей тепловой автогенерации звука.

Трубы широко используют в музыкальных инструментах: дудочка, флейта, гобой, орган. Возмущение воздуха в полой трубе сопровождается колебаниями в виде стоячих волн. Частота звука зависит от размеров трубки. Кроме труб звуки создают сосуды с воздухом, сообщающиеся с атмосферой через отверстие.

Гудят печные и каминные трубы причина – термоакустические явления. Во всех случаях звук создает заключенный в трубе столб воздуха, который, перемещаясь, колеблется и звучит.

Поющее пламя Хиггенса [1] – первое упоминание о звуке, порожденным теплом, сделал в 1777 г. Хиггинс. Он помещал водородное пламя в открытую с двух сторон вертикальную трубу. Из-за конвекции нагретого воздуха в трубе возбуждались звуковые колебания с наименьшей ($n = 1$) собственной частотой f_1, рис. 1-а:

$$f_n = (nc_0)/2L \ , \qquad (1)$$

где L – длина трубы; f – частота звука; c_0– скорость звука в воздухе; n = 1, 2, 3 – номер гармоники. Наибольшая громкость достигалась при размещении пламени на расстоянии $h = L/4$ снизу.

Поющая труба Рийке – в 1859 г. Пауль Рийке обнаружил явление, названное в его честь. При нагреве металлической сетки внутри открытой с обоих концов вертикальной трубы возникал од-

нотонный звук, рис. 1-б. Наибольшая громкость достигается при размещении нагретой сетки на высоте $h = L/4$. Появление звука связано с возникновением в трубе тяги – легкий теплый воздух от нагретой сетки поднимается вверх, а холодный воздух извне поступает в нижнюю часть трубы. Эффект наблюдался, если мощность теплового источника превышает пороговое значение.

Поющая труба Зондхаусса – впервые явление описано Карлом Зондхаусом в 1850 г. При выдувании стекла воздух, проходящий через трубку, образует на другом ее конце, находящимся в печи, полый шар из стеклянной массы. При определенных размерах трубки и шара в трубке возникает звук, рис. 1-в.

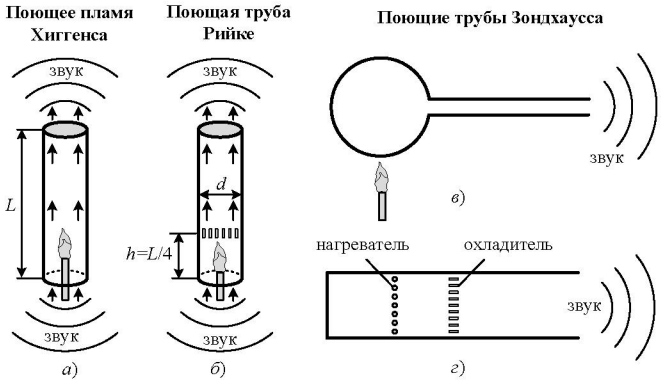


Рис. 1. Термоакустические «поющие трубы»

Емкость с узкой трубкой, длина которой меньше длины звуковой волны, называют резонатором Гельмгольца. Воздух в трубке совершает собственные колебания, частота которых зависит от геометрических размеров устройства. Самовозбуждение колебаний вызвано разницей температур стенок емкости и горла, которая должна превышать некоторый порог.

Звук в трубах может возникать и без потока воздуха. В горизонтальную трубу, один конец которой закрыт, а другой открыт (или закрыты оба конца) помещают близко расположенные нагреватель и охладитель. При определенной разнице температур в тру-

бе возникает звук, рис. 1-г.

Механизм возникновения звука при подводе тепла в трубах Рийке и Зондхаусса в 1887 г. описал Рэлей. Качественная теория Рэлея указывает на то, что труба Рийке является тепловым автогенератором звука, где тепловая энергия преобразуется в энергию звука. Рэлей впервые выделил класс автоколебательных систем и указал основные признаки автоколебательных процессов.

2. Актуальность изучения термоакустических явлений

На практике проблема термического возбуждения акустических колебаний проявилась при форсировании режимов камер сгорания энергетических установок: котлы, газовые турбины, воздухонагреватели, парогенераторы. Появление колебаний большой амплитуды приводит к повреждению конструкции, ухудшает КПД.

Особенно остро проблема вибрационного горения стоит при работе ракетных и реактивных двигателей. Мощные акустические колебания в воздушно–реактивных (ВРД), ракетных двигателях на жидком и твердом топливе (ЖРД и ТРД) вызывают разрушения узлов вплоть до выхода из строя [2].

Колебания приводят к вибрационным нагрузкам, достигающим $103g$. Нарушается работа чувствительных элементов бортовых систем управления ракет, разрушаются элементы конструкции двигателя и полезной нагрузки, возникает нестабильность тяги и расхода топлива, величины и направления вектора тяги. Под действием звуковых колебаний интенсифицируется процесс теплопередачи, возникает опасность прогара камеры сгорания и сопла.

Появление звука в реактивном двигателе обязано двум физическим процессам, – аэродинамической и термической генерации звука. Первая вызвана турбулентными пульсациями газовой струи, а вторая – эффектом Рийке. Теорию аэродинамической генерации в 1952 г. разработал Джеймс Лайтхилл. Строгой теории эффекта Рийке не существует до сих пор.

3. Физические процессы в основе эффекта Рийке

При колебаниях воздуха в трубе звуковое приращение давления Δp на открытых ее концах равно нулю $\Delta p = p(t) - p_0 = 0$, где $p(t)$ и p_0 – полное и атмосферное давление. На концах трубы в

стоячей звуковой волне находятся узлы давления Δp, пучности колебательных смещения Δx и скорости $V_k = dx/dt$ частиц воздуха. Собственное колебание воздуха в трубе с наименьшей частотой f_1 является основным, рис. 2, для него:

$$f_0 = f_1 = c_0/\lambda = c_0/2L;\ \ L = \lambda/2 \tag{2}$$

Величины Δx, V_k и Δp распределены вдоль Oz:

$$\Delta x_n(t,z) = A_{mxn} \cdot \sin(\omega_n t) \cdot \cos(\omega_n z/c_0); \tag{3}$$

$$V_{Kn}(t,z) = A_{mVn} \cdot \sin(\omega_n t) \cdot \cos(\omega_n z/c_0); \tag{4}$$

$$\Delta p_n(t,z) = A_{mpn} \cdot \sin(\omega_n t) \cdot \cos(\omega_n z/c_0); \tag{5}$$

где A_{mn} – амплитуда n–й гармоники. Зависимости (3) – (5) для $n = 1$ показаны на рис. 2 в моменты $t = 0, T/4, T/2, 3T/4$.

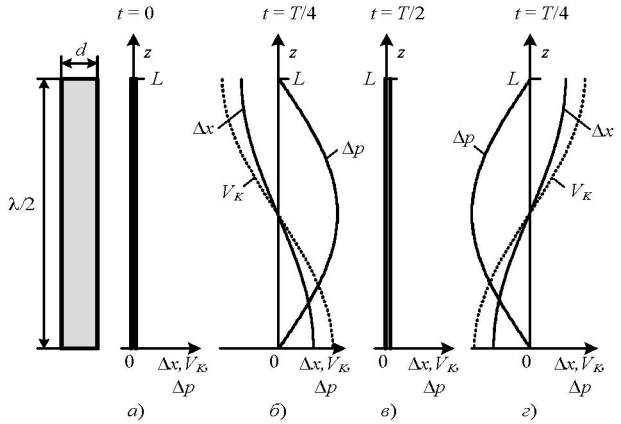


Рис. 2. Основное собственное колебание ($n = 1$) столба воздуха

Роль нагревателя в трубе Рийке не ограничена созданием конвекции. Труба Рийке, как автоколебательная система, содержит: 1). – источник энергии (нагреватель); 2). – колебательную систему (воздух в трубе), задающую частоту колебаний; 3). – положительную обратную связь (ПОС) для компенсации потерь на трение и излучение. Обратная связь акустическая, для ее функционирования

большое значение имеет нагреватель. Без нагревателя собственные колебания воздуха в трубе быстро затухают [3].

Рэлей отметил две функции нагревателя: 1). – изменять свою температуру под действием звуковых колебаний воздуха в трубе; 2). – управлять тягой, отдавая окружающему воздуху избыток тепла в определенные моменты времени. Нагреватель должен быть там, где одновременно максимальны величины Δp и Δx ($h = L/4$), рис. 1-б. В этом случае обратная связь максимальна, а условия оптимальны для автоколебательной системы Рийке.

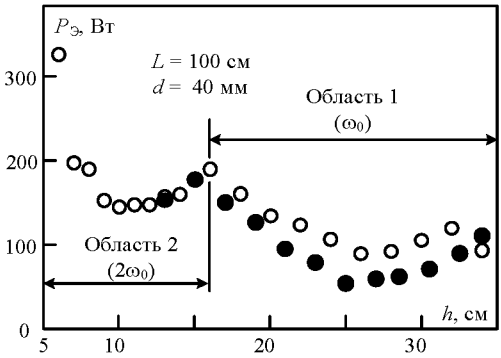


Рис. 3. Зависимость электрической мощности нагревателя (в начале генерации звука) от высоты нагревателя над нижним краем трубы (L и d – длина и внутренний диаметр)

4. Эксперименты с тепловой генерацией звука

Экспериментальные зависимости электрической мощности нагревателя $P_Э$, при которой начиналась генерация звука, от высоты нагревателя h над нижним краем трубы, рис. 3, имеют две характерные области. Минимумы электрической мощности $P_Э$ соответствуют $h \cong L/4 = 25см$ и $h \cong L/8 = 12{,}5см$. В первой области эффективно генерируется 1-я гармоника собственных колебаний воздуха в трубе, во 2-й области – вторая гармоника. На границе областей генерируются обе гармоники.

В процессе проведенных исследований установлено:

1) – в трубе длиной $L = 1м$ колебаниям основной частоты (1) соответствует $f_1 = 170Гц$; для 2-й гармоники $-2f_1 = 340Гц$. Измеренные значения: $f_1 = 172{,}4Гц$ при расположении нагревателя на высоте $h = L/4$ и $2f_1 = 333Гц$ при $h = L/8$. Несовпадение с расчетом вызвано неточностью задания скорости звука в воздухе;

2) – частота звука зависит от длины трубы. Поверх стеклянной трубы надета пластиковая труба, которая сдвигалась вверх, удлиняя общую длину резонатора, и измерялась частота звука, рис. 4;

3) – внутри звучащей трубы давление $p(t)$ отлично от p_0. На стеклянную трубу сверху плотно надета пластмассовая труба, в стенке которой сделаны отверстия, заклеенные лентой. Если открыть одно из отверстий, звук прекратится. Срыв генерации вызван выравниванием давления внутри трубы с атмосферным давлением.

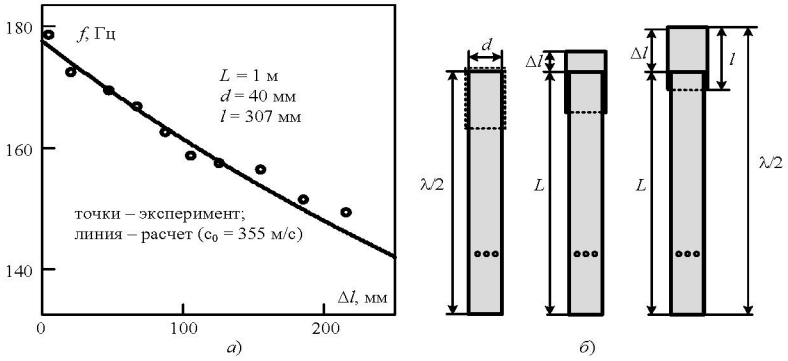


Рис. 4. Зависимость частоты колебаний(а) от длины трубы Δl (б)

Список литературы

1. Майер В.В. Простые опыты со струями и звуком. М.: Наука, 1985. – 128 с.

2. Иовлева О.В., Ларионов В.М., Митрофанов Г.А. Теория термоакустических колебаний газа. – Конспект лекций. Казанский федеральный университет. – Казань, 2014. – 114 с.

3. Красильников В.А. Введение в акустику. М.: Изд-во МГУ,

1992. – 152 с.

EXPERIENCES WITH THERMAL AUTOGENERATION OF SOUND

Sevastianov N.
Supervisor: A. Gavrilov, doctor phys.-math.sc., docent
(Southern Federal University, Taganrog)

There was created installation for studying Rijke effect, known theoretical models are checked experimentally up. There are investigated dependences of the thermal capacity resulting to sound generation on heater arrangement and sound frequency on pipe length.

УДК 526.35

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООТДАЧИ ДВУХРЯДНЫХ ПУЧКОВ ВОЗДУХООХЛАЖДАЕМЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Сидорик Г.С.
Научный руководитель: А.Б. Сухоцкий, к.т.н., доцент
(Белорусский государственный технологический университет, г. Минск)

В статье представлено исследование теплоотдачи при интенсифицированной свободной конвекции воздуха двухрядного пучка, состоящего из биметаллических труб со спирально накатными ребрами со следующими параметрами: наружный диаметр ребра $d = 56$ мм; высота ребра $h = 15$ мм, шаг ребра $s = 2{,}5$ мм, средняя толщина ребра $\Delta = 0{,}5$ мм; диаметр ребра у основания $d_0 = 26$ мм, коэффициент оребрения $\varphi = 21$. Поперечный шаг труб в однорядном пучке составлял $S_1 = 58$ мм, продольный шаг составлял $S_2 = 50$ мм. Установка вытяжной шахты способствует увеличению теплоотдачи в 1,5 – 3 раза по сравнению со свободной конвекцией.

В настоящее время применимость воздухоохлаждаемых теплообменников (ВОТ) в различных отраслях промышленности расширяется ввиду их экологичности и отсутствия потребности в охлаждающей воде. Областью применения данных теплообменников являются химическая и нефтехимическая промышленность, металлургия, компрессорные станции с трубопроводами, электростанции, системы охлаждения оборотной воды в установках для кондиционирования, пищевая промышленность и т. д. [1, 2].

Воздухоохлаждаемые теплообменники являются крупными потребителями электрической энергии, потому актуальной является задача снижения электропотребления. Одним из решений данной задачи является перевод их работы в течение некоторого периода времени года в режим, при котором отключаются все или часть вентиляторов охлаждающего воздуха, а отвод теплоты от охлаждаемого рабочего тела осуществляется свободной конвекцией. Однако теплоотдача оребренных трубных пучков в условиях свободной конвекции является недо-

статочно изученной. Это объясняется сложностью процессов теплообмена при свободной конвекции, особенно на ребристых поверхностях, где присутствует сопряженный теплообмен, и по этой причине становится невозможным применение теоретических методов описания и расчета в виду их громоздкости, неточности, сложности и в некоторых случаях неосуществимости [3].

К сожалению, область температур окружающего воздуха, при которых возможно применение ВОТ в условиях свободной конвекции, ограничена. Но при оснащении ВОТ дополнительными устройствами, позволяющими интенсифицировать свободную конвекцию, теплопроизводительность теплообменника может оставаться неизменной при более высоких температурах окружающего воздуха без потребления электроэнергии приводом вентилятора. Одним из таких устройств, не потребляющим энергию, является вытяжная шахта, установленная над ВОТ для усиления тяги воздуха.

Для изучения влияния установки вытяжной шахты на теплоотдачу воздухоохлаждаемого теплообменника был исследован двухрядный шахматный пучок, состоящий из биметаллических ребристых труб, с равносторонней компоновкой труб с продольным шагом $S_2 = 50$ мм и поперечным шагом $S_1 = 58$ мм. В первом ряду пучкам установлено шесть труб, во втором − пять труб и по краям ряда разрезанные вдоль оси половинки труб. Геометрические размеры оребренной трубы следующие, мм: наружный диаметр оребрения $d = 56$; диаметр оребрения по основанию $d_0 = 26$; высота, шаг, средняя толщина ребра соответственно $h = 15$; $s = 2{,}5$; $\Delta = 0{,}5$; длина оребренной части трубы $l = 300$. Ребристая оболочка выполнена из алюминия с коэффициентом оребрения трубы $\varphi = 21$. Несущая гладкая труба наружного диаметра 25 мм и толщиной стенки 2 мм изготовлена из стали 10. Внутрь целых труб соосно вставлен стальной ТЭН диаметром $d_{\text{ТЭН}} = 12{,}5$ мм, мощностью 320 Вт. Между ТЭНом и стенкой засыпался кварцевый песок дисперсным составом 0,16−0,32 мм. Трубы устанавливались в трубных решетках, выполненных из фанерных досок толщиной 4 мм, а их торцы для снижения тепловых потерь были защищены фторопластовыми втулками. Одна из центральных обогреваемых труб в каждом ряду (калориметр) содержит средства измерения средней температуры для вычисления приведенного коэффициента теплоотдачи.

Для интенсификации теплоотдачи воздуха над экспериментальным пучком устанавливалась вытяжная шахта высотой 0,52; 1,16 и 2,12 м.

Вытяжная шахта имеет снизу прямоугольное основание, равное поперечному сечению теплообменного пучка, которое плавно переходит в цилиндрическую трубу, диаметром 105 мм. Для снижения тепловых потерь шахта снаружи покрыта слоем минерального волокна толщиной 2–3 см.

Опыты выполнялись в условиях полного теплового моделирования. В ходе эксперимента через трансформатор подавалась электрическая мощность на ТЭНы, оребренные трубки прогревались и нагревали воздух вокруг себя. Нагретый воздух под действием гравитационных сил перемещался вверх, заполняя вытяжную шахту и организовывая вертикальное движение потока теплого воздуха. При этом в пучке осуществлялась теплоотдача от оребренных труб в условиях смешанной конвекции воздуха, когда значения теплоотдачи за счет естественной и вынужденной конвекции воздуха сопоставимы.

В ходе проведения опытов в каждой серии изменяли электрическую мощность, подаваемую на трубу-калориметр в диапазоне 8–160 Вт. Температура стенки у основания ребер изменялась в диапазоне 20–120°С, температура окружающего воздуха в камере 17–23°С. Время выхода установки на стационарный тепловой режим составляло 60 – 90 мин после каждого регулирования электрической мощности, подаваемой на пучок. Подробно схема стенда и методика экспериментального исследования представлена в [4].

Расчет коэффициента теплоотдачи осуществлялся по результатам проведенных измерений на калориметрической трубе. Средний приведенный коэффициент теплоотдачи, отнесенный к полной наружной поверхности, Вт/(м^{2}К)

$$\alpha = \frac{Q_к}{\left(t_{ст} - t\right) \cdot F}, \qquad (1)$$

где $Q_к$ – конвективный тепловой поток, Вт; $t_{ст}$– средняя температура поверхности стенки у основания ребер трубы (среднеарифметическая температура по показаниям термопар), °С; t – определяющая тем-

пература воздуха на входе в пучок (ряд пучка), °С; $F = l \cdot \pi \cdot d_0 \cdot \varphi$ – площадь теплоотдающей оребренной поверхности трубы, м^2.

Тепловой поток $Q_к$, Вт, отведенный от трубы к воздуху конвекцией, рассчитывался

$$Q_к = W - Q_л - Q_п, \quad (2)$$

где W – электрическая мощность, подводимая к калориметру, Вт; $Q_л$ – тепловой поток, отведенный излучением от трубы к воздуху, Вт, вычисляется по рекомендациям [4]; $Q_п$ – тепловые потери через торцы труб и токоподводы, Вт.

Тепловые потери через торцевые участки оребренных труб пучка вычислялись на основании предварительно проведенных опытов [5].

Результаты эксперимента обрабатывались и представлялись в безразмерных числах подобия Нуссельта и Грасгофа:

$$Nu = \alpha_к \cdot d_0 / \lambda,\ Gr = (g \cdot d_0^3 \cdot \beta \cdot (t_{ст} - t))/\nu^2, \quad (3)$$

где λ, ν – коэффициенты теплопроводности, Вт/(м·К), и кинематической вязкости м^2/с, воздуха; w – скорость потока воздуха в пучке, м/с, g – ускорение свободного падения, м/с^2; $\beta = 1/(t + 273)$ – коэффициент температурного расширения, К$^{-1}$.

При вычислении приведенного коэффициента теплоотдачи и числа Грасгофа для всего пучка и для первого ряда пучка в качестве определяющей температуры и для расчета коэффициентов теплопроводности и кинематической вязкости в формуле (3) принималась температура воздуха в камере t_0. При вычислении приведенного коэффициента теплоотдачи и числа Грасгофа для второго ряда пучка в качестве определяющей температуры и для расчета коэффициентов теплопроводности и кинематической вязкости в формуле (3) принималась температура воздуха на входе во второй ряд

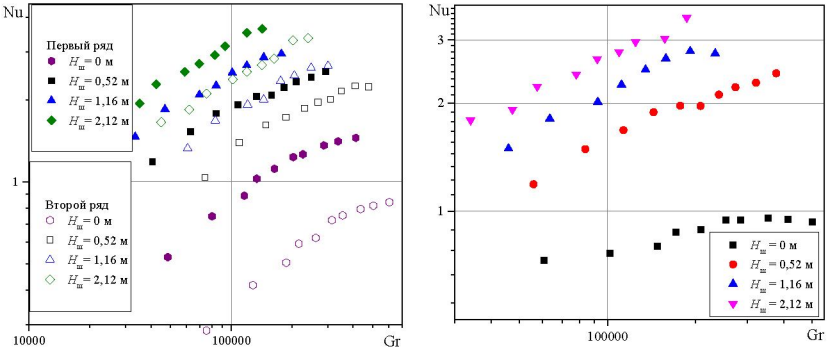
$$t_п = t_0 + \frac{n \cdot (Q_к + Q_л)}{c_p \cdot \rho_{ср} \cdot V}, \quad (4)$$

где n – число обогреваемых труб в первом ряду пучка ($n = 6$), шт; $c_р$ – средняя изобарная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К); $\rho_{ср}$ – средняя плотность воздуха в первом ряду пучка, кг/м^3; V – расход воздуха в

пучке, м^3/с.

Параметры воздуха c_p и $\rho_{ср}$ вычислялись по средней температуре воздуха в первом ряду пучка $t_{ср} = 0{,}5\cdot(t_0 + t_п)$. Общая точность определения опытных значений чисел Нуссельта и Грасгофа во всем диапазоне тепловой нагрузки составляла 2–4%.

На рисунке 1 представлены в логарифмических координатах зависимости чисел Нуссельта от чисел Грасгофа.



а)

б)

Рис. 1. Теплоотдача двухрядного пучка *а*) порядная, *б*) общая

Таким образом, установка вытяжной шахты способствует увеличению теплоотдачи в 1,5 – 3 раза по сравнению со свободной конвекцией. А также с увеличением высоты вытяжной шахты теплоотдача пучка также увеличивается.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (Т17РМ – 081).

Список литературы

1. Аппарат воздушного охлаждения: пат. 9446 Респ. Беларусь, МПК 7 F 24 F 3/00, F 28 D 1/00 / Кунтыш В. Б., Сухоцкий А. Б., Миннигалеев А. Ш., Мулин В. П.; заявитель Учреждение образования «Белорусский Государственный Технологический Университет». № u 20130091, заявл. 31.01.2013; опубл. 30.08.2013 //

Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2013. №9. С. 70.

2. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: Справочник; / Под общ. ред. В. Б. Кунтыша, А. Н. Бессонного. СПб.: Недра, 1996. 512 с.

3. Новожилова А.В. Анализ методик определения теплоотдачи воздуха на оребренных поверхностях нагрева при свободной конвекции // Проблемы теплоэнергетики Европейского севера: сб. науч. тр. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2010. – С. 88–97.

4. Сухоцкий А. Б., Фарафонтов В. Н, Филатов С. О., Сидорик Г. С. Разработка стенда и исследование свободной конвекции одиночной оребренной трубы при различных углах наклона / Труды БГТУ. 2017. – С.169 – 174.

5. Самородов А. В. Совершенствование методики теплового расчета и проектирования аппаратов воздушного охлаждения с шахматными оребренными пучками: Автореф дис. канд. техн. наук 05.14.14. – Спб.: СПбГТУ. – 1999. С. 3−22.

6. Сухоцкий А.Б., Сидорик Г.С. Интенсификация свободной конвекции в однорядном оребренном пучке в аппаратах воздушного охлаждения // Труды БГТУ. Серия 2. Хим. технол., биотехн., геоэколог., №1 (193), 2017. С. 68–74.

INTENSIFICATION OF THE THERMOLYSIS OF TWO-ROW BUNCHES OF AIR-COOLED HEAT EXCHANGERS

Sidorik G.
Supervisor: A. Sukhotskii, PhD (Engineering), Associate Professor
(*Belarusian State Technological University*)

The thermolysis research at the intensified free convection of air of the two-row bunch consisting of bimetallic pipes with spirally-rolling edges with the following parameters is presented in article: external diameter of an edge d = 56 mm; edge height h = 15 mm, edge step s = 2,5 mm, average thickness of an edge Δ = 0,5 mm; diameter of an edge at basis d_0= 26 mm, coefficient of fins φ =21. The cross step of

pipes in a single-row bunch made S_1 = 58 mm, the longitudinal step made S_2 = 50 mm. Installation of the exhaust mine promotes increase in a thermolysis by 1,5 – 3 times in comparison with free convection.

УДК 536.24

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕЧЕНИЙ В ВЫЕМКАХ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

Степанов А.С., Ахметшин Р.И., Зарипов И.Ш.
Научный руководитель: И.И. Хабибуллин к.т.н.,
А.В. Щукин, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В докладе представлены исследования визуализации потока в выемках различной формы, позволяющие проанализировать целесообразность изменения формы двухполостной диффузорной выемки (ДДВ) [1] для повышения ее технологичности.

Повышение температуры газа перед турбиной позволяет получить больше полезной работы с каждого килограмма горячего газа. Однако в этом случае приходится переходить к более энергозатратным системам охлаждения. Для снижения затрат на функционирование систем воздушного охлаждения двигателя необходимо переходить к использованию пристенных интенсификаторов теплообмена.

Публикации последних десятилетий показывают (см., например, [1]), что предложено к использованию много вариантов таких интенсификаторов. Поэтому при выборе приемлемых их вариантов необходимо обращать внимание прежде всего на их энергетическую эффективность. Высокие удельные параметры ДДВ позволяют принять ее за базовую модель.

Рабочим телом в опытах по визуализации потоков с использованием древесных опилок и по измерению коэффициента давления C_p являлся воздух. Установка включала в себя прямоугольный опытный участок (рис.1). Его высота составляла H=0,08 м, ширина B = 0,14 м, а длина - L=1 м. Число Рейнольдса с характерным линейным размером - гидравлический диаметр канала - изменялось в диапазоне Re_D=90000…185000.

Датчики статического давления, установленные на поверхности полостей моделей выемок, выполнены из трубок с внешним диаметром 0,4 мм. Статическое давление измерялось преобразователями давления ПРОМА ИДМ-0,6 ДД, имеющими класс точности 1.

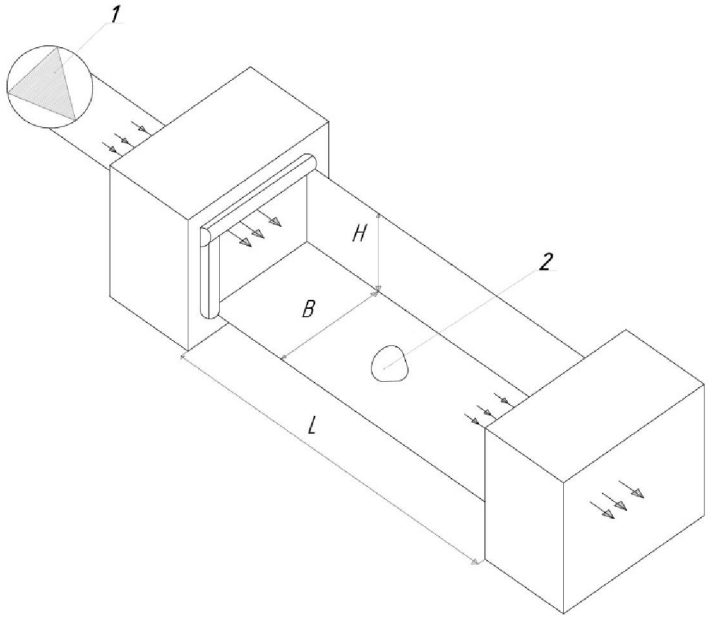


Рис. 1. Схема опытного участка экспериментального стенда (боковая и верхняя стенки условно сняты): 1 – центробежный компрессор, 2 – модель выемки

В докладе проанализированы полученные авторами опытные данные по исследованию диффузорных выемок отрывного типа. Модели выполнены из пластика. Их относительная глубина составляла $h/d_г = 0{,}3...0{,}35$ ($d_г$ – гидравлический диаметр выемки в плане); угол раскрытия диффузора в плане составлял $\Theta = 60°$.

На рисунке 2 показаны схемы исследованных моделей выемок. Различаются они формой входной кромки и высотой ребра, расположенного на ней в продольной плоскости симметрии

выемки. Диффузорная форма выемки позволяет снизить ускорение возвратного течения по сравнению со сферической выемкой, создавая благоприятные условия для появления неустойчивости пристенных течений.

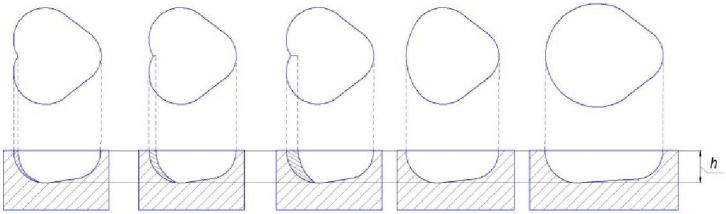


Рис. 2. Схема выемок: а – двухполостная диффузорная выемка (ДДВ), б – ДДВ с низким ребром-разделителем, в – ДДВ с высоким ребром-разделителем полостей, г – диффузорная однополостная выемка, д – диффузорная каплевидная выемка

Визуализационные исследования течений проводились в полостях моделей выемок, схематично показанных на рисунке 2. Визуализация течений проводилась с помощью древесных опилок.

На рисунке 2 показаны эскизы, выполненные по результатам визуализационных исследований.

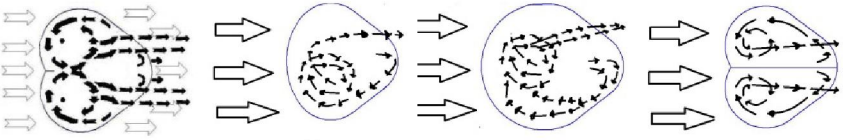


Рис. 3. Эскизы рециркуляционных течений по результатам визуализации потоков в выемках: а – двухполостная диффузорная; б – с радиусным обводом входной кромки; в – каплевидная; г – двухполостная со сплошным ребром-перегородкой

Как следует из рисунка, во всех исследованных вариантах выемок в области их выходных кромок образуются самоорганизующиеся крупномасштабные вихревые структуры (СКВС).

Результаты визуализации течений, показанные на рисунке 3,а, демонстрируют непрерывное функционирование обеих вихревых структур в ДДВ. Здесь ребро-разделитель полостей в этой выемке способствует образованию двух непрерывно существующих во времени СКВС.

Дальнейшее снижение высоты ребра-разделителя потоков принципиально не изменяют характера визуализационных картин. Полное же исключение этого ребра качественно изменяет характер обтекания выемки. Так, в однополостной диффузорной выемке с радиусным обводом входной кромки (рисунок 3,б) образуется возвратное течение, которое снижает свою скорость, как и в ДДВ. Однако, в отличие от ДДВ, здесь образуется только одна СКВС. Аналогично рассмотренной выше выемке происходит и обтекание каплевидной выемки (рисунок 3,в).

Как показали результаты визуализации потоков, двукратное расширение полости выемки в ДДВ при удалении ребра-разделителя полостей не привело к соответствующему увеличению диаметра СКВС по сравнению с ДДВ. В то же время известно (см., например, работу [2]), что область СКВС имеет сравнительно высокий уровень теплоотдачи. Например, в полусферической выемке она составляет примерно 50-60% от максимальной теплоотдачи в полусферической выемке, которая реализуется в области присоединения потока к ее поверхности. Отсюда следует, что образовавшаяся после удаления ребра-разделителя полостей поверхность однополостной диффузорной выемки используется неэффективно и поэтому может быть сокращена по ширине путем уменьшения угла Θ раскрытия диффузорной полости.

В первом приближении в однополостных диффузорных выемках следует установить угол раствора диффузора в плане $\Theta \approx 30^{\circ}$, поскольку этот угол дал положительные результаты по интенсификации теплообмена в полостях ДДВ. По этой же причине целесообразно, по аналогии с расположением в плане каждой из полостей ДДВ, выбрать угол установки $\beta \approx 15^{\circ}$. Он характеризует расположение продольной оси симметрии выемки относительно направления основного потока.

Как видно на рисунке 3, обе СКВС имеют в этом случае такие диаметральные размеры, которые полноценно заполняют полости выемки. В то же время, поскольку диаметр СКВС во вновь образованных выемках в несколько раз меньше, чем ширина выемки, то координаты эпицентров образующихся в однополостных диффузорных выемках малоразмерных СКВС могут занимать произвольное положение в области их выходной кромки по ширине выемки. Это положение предопределяется точностью установки выемок в продольном направлении относительно направления внешнего потока воздуха, что видно из сравнения рисунков 3,б и 3,в.

Важно отметить, что даже установка в ДДВ ребра, полностью разделяющего обе полости выемки по всей ее глубине (рисунок 3,г), незначительно снижает интенсивность обеих СКВС. Именно одна из таких половин ДДВ, разделенных перегородкой, и послужила основой для выбора рациональной схемы однополостной диффузорной выемки отрывного типа.

Таким образом, показано что при отсутствии ребра-разделителя полостей двухполостная диффузорная выемка становится однополостной с одиночной, непрерывно существующей СКВС при незначительном снижении уровня разрежения в области эпицентра СКВС, по сравнению с ДДВ. Обоснована схема технологичной одиночной диффузорной выемки отрывного типа и предложены пути совершенствования ее конструкции.

Список литературы

1. Щукин А.В. Особенности тепло- и массообмена в сферических выемках при различных внешних воздействиях/ Щукин А.В., Ильинков А.В., Такмовцев В.В., Хабибуллин И.И.// Теплоэнергетика. – 2017. - №6, с. 62-71.

2. Щукин А.В. Интенсификация теплообмена сферическими выемками при воздействии возмущающих факторов/ А.В. Щукин, А.П. Козлов, Р.С. Агачев, Я.П. Чудновский; под ред. акад. В.Е. Алемасова. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2003. – 143 с.

VISUALIZATION OF FLOWS IN THE DIMPLE OF VARIOUS FORM

Stepanov A., Akhmetshin R., Zaripov I.
Supervisor: I. Khabibullin, A. Shchukin
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The report presents studies of flow visualization in dimples of various shapes that allow one to analyze the feasibility of changing the shape of a two-cavity diffuser dimple to improve its manufacturability.

УДК 621.1

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ТУРБОНАДДУВА

Суламанидзе А.Г., Яковлев М.М.
Научный руководитель: А.В. Гимбицкий, к.т.н., ассистент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В докладе идет речь о этапах развития и усовершенствования наддува. Описаны актуальные конструкторские решения и задачи исследований в этой области.

История развития наддува началась совместно с конструированием первых двигателей внутреннего сгорания. Первые конструкторы ДВС пытались различными методами найти наиболее результативные способы повышения мощности двигателя.

Формула эффективной мощности двигателя:

$$N_e = \frac{H_u \cdot \eta_e \cdot 2\pi \cdot 10^3}{l_0 \cdot \alpha \cdot \tau} \cdot G_B \qquad (1)$$

G_B - массовый заряд воздуха, остающегося в цилиндрах двигателя

$$G_B = V_Л \cdot \rho \cdot \eta_V \qquad (2)$$

Из уравнений (1)-(2) следует, что эффективная мощность двигателя, при неизменном рабочем объеме цилиндров и составе смеси, можно значительно увеличить за счет увеличения плотности воздуха (наддува), поступившего в двигатель[1]. Это наиболее продуктивный способ повышения мощности.

Под занавес 19 века Готлиб Даймлер и Рудольф Дизель активно исследовали увеличение мощности методом сжатия воздуха. Готлиб Даймлер получил патент на систему наддува двигателя с принудительным зажиганием, но применение этого способа наддува было небольшим. В 1905 году изобретение Альфреда Бюши дало начало развитию турботехнологий. Суть идеи была в нагнетании при помощи выхлопных газов и использовании турбины с

компрессором, при этом было получено повышение мощности на 120%.

В начале 20 века наддув слабо развивался в гражданской сфере. Наблюдалась серьезная военная ориентация. В 1910 году Сэнфорд Александр Мосс, трудившийся на General Electric, сконструировал для авиационного двигателя турбонагнетатель обеспечивающий сохранность мощности на больших высотах и возможность достичь высоту 10000 м.

К моменту начала Второй мировой войны в СССР начали устанавливать на подводные лодки отечественные дизели с турбонаддувом. В конце 40-х годов наддув стал уже неизменным атрибутом тяжелых агрегатов. Серийное производство дизельных двигателей с наддувом началось в 60-х годах, их устанавливали на тяжелые грузовые автомобили-вездеходы, трактора. В этих дизелях использовался турбокомпрессор ТКР-9.

После Второй мировой войны турбонаддув стали адаптировать к бензиновым моторам легковых автомобилей, но столкнулись с технологическим отставанием в машиностроении. А именно с неспособностью обеспечить требуемое охлаждение, смазку высокотемпературных узлов. Зато в Формуле 1 в период 1949-1953 все команды использовали двигатели с механическим нагнетателем объёмом до 1.5 литров. Первыми серийными легковыми автомобилями с турбонаддувом стали Chevrolet Corvair Monza и Oldsmobile Jetfire, дебютировавшие лишь в 1960-х.

Сегодня наддув стал практически незаменимой составляющей всех дизельных моторов, силовых установок и энергетических установок, в авиации. Турбины в составе судовых двигателей применяются в основном в качестве главных двигателей на военных кораблях, транспортных судах на подводных крыльях и на судах на воздушной подушке. Такие малооборотные судовые двигатели внутреннего сгорания используются как главные двигатели судов различных типов; их агрегатная мощность составляет 2,2—35 МВт, число цилиндров 5—12, частота вращения 103—225 об / мин.[2]. Современные производственные машиностроительные технологии позволяют оснащать турбонаддувом атмосферные дви-

гатели и практически все дизельные двигатели широкого применения.

Следует упомянуть, что сегодня проводятся эксперименты с электротурбинами. Они не понижают мощность двигателя и показывают сравнительно лучшие значения на малых оборотах, так как колесо компрессора вращает электромотор, мгновенно реагируют на нажатие педали газа. Производители таких устройств активно продвигают свой товар в автомобилестроении, но на данный момент электронаддув так и не устанавливался на серийные автомобили. Не секрет, что «Audi», «BMW» оказывают повышенное внимание к электрическому компрессору. С другой стороны, внедрением более сложной конструкцией с двумя-тремя турбокомпрессорами можно решить проблемы возникающие на малых оборотах.

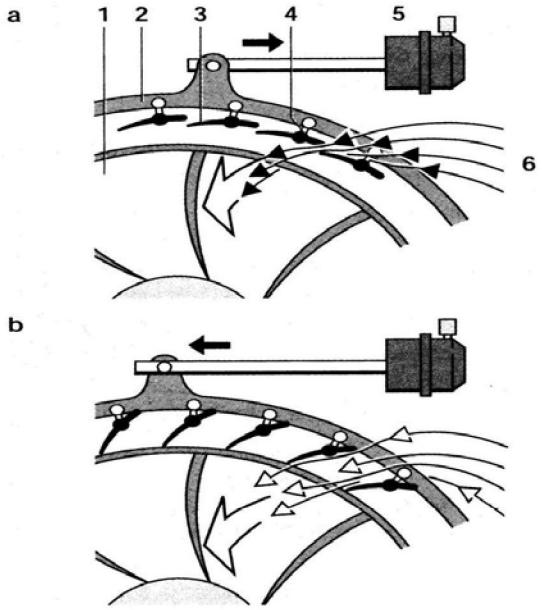


Рис. 1. a – положение направляющих лопаток при высокой скорости потока отработавших газов;
b – положение направляющих лопаток при низкой скорости потока отработавших газов

Так же появилось такое конструктивное улучшение как крыльчатка с изменяемой геометрией. По мере увеличения частоты оборотов наклон лопаток регулируется, обеспечивая плавное нарастание давления струи газов и выдачу максимального крутящего момента в большом диапазоне оборотов. Этим сводится на нет так называемая «турбояма». Улучшаются газодинамические характеристики системы.

1 – крыльчатка турбины; 2 – управляющее кольцо; 3 – подвижные направляющие лопатки соплового аппарата; 4 – управляющий рычаг; 5 – управляющий пневматический цилиндр; 6 – поток отработавших газов.

Твинскроллльная горячая «улитка», двухканальная улитка турбины позволяет направлять выхлопные газы на крыльчатку турбины под разными углами. Так же как и крыльчатка с изменяемой геометрией твинскролл позволяет повысить отдачу и эффективность в широком диапазоне оборотов. Твинскролл, битурбо и турбины с изменяемой геометрией сегодня активно используются в серийном производстве.

В настоящее время требованиями для любого двигателя стали растущие требования по экологической чистоте, сниженной токсичности при достижении наилучшей экономичности и высокой мощности. В настоящее время наддув является весьма актуальной темой в связи с ростом потребности в мощных и компактных двигателях. Доля двигателей с наддувом стабильно растет, ведущие компании мира уделяют этой теме особое внимание и поэтому нужно проводить исследования в этой области.

Для решения существующих проблем на кафедре теплотехники и энергетического машиностроения КНИТУ-КАИ был спроектирован стенд для исследования и оптимизации характеристик турбокомпрессора.

Список литературы

1. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]: учеб. для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. - 3-е изд. перераб. и доп. - М.: Высш. шк., - 2002. - 496 с.

2. Инновационный Центр Развития Образования и Науки [Электронный ресурс] / Особенности выбора типа силовой установки для автономных морских роботизированных систем; авт. курса, Береснев М.А., Береснев А.Л., Гуренко Б.В. — Электрон. текстовые дан. — М., [Таганрог, 2014] :Режим доступа: http// http://izron.ru/, свободный. — Загл. с экрана.

HISTORY OF TURBOCHARGER

Sulamanidze A., Yakovlev M.
Supervisor: A. Gimbicki, PhD, assistant
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The report talks about the stages of development and improvement of supercharging. The actual design solutions and research problems in this field are described.

УДК 621.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБОКОПРЕССОРА

Яковлев М.М., Суламанидзе А.Г.
Научный руководитель: А.В. Гимбицкий, к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Доклад посвящен принципам работы турбокомпрессора и его преимуществам. Рассмотрен стенд для определения характеристик турбокомпрессора.

В современном мире важной задачей при проектировании поршневых двигателей является улучшение экологических показателей при сохранении мощности. Существует ряд способов повышения мощности двигателей, но одним из самых эффективных является турбонаддув двигателя, так как турбонаддув позволяет увеличить мощность двигателя без увеличения массогабаритных показателей двигателя. Так же огромным плюсом турбонаддува является его экономичность и чистота выхлопа. Поэтому важно знать и понимать характеристики агрегатов наддува.

Главным элементом конструкции турбонаддува является турбокомпрессор (ТКР). Конструкция ТКР объединяет два колеса – турбинное и компрессорное, жестко закрепленные на валу ротора. Вал вращается в подшипниках скольжения. Подшипники плавающего типа, то есть имеется зазор со стороны корпуса и вала. Каждые из колес, а также вал с подшипниками помещены в отдельные корпуса. Энергия отработавших газов вращает турбинное колесо, тем самым раскручивает и колесо компрессора. Воздух попадая в компрессор сжимается и нагнетает в цилиндры двигателя под давлением, тем самым увеличивается объем сгораемой смеси. Следовательно, растет и объем образовавшегося газа, который с большей силой давит на поршень.

Для повышения технико-экономических показателей ТКР совместно с двигателем необходимо четко знать характеристики установки. Для этого на кафедре теплотехники и энергетического

машиностроения сконструирован стенд для проведения исследований характеристик ТКР.

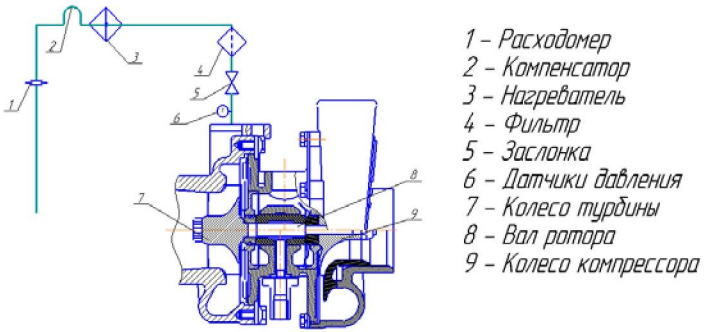


Рис.1. Схема стенда

Воздух, поступая из сети в трубопровод, нагревается в нагревательном элементе 3. Компенсатор 2 гасит вибрации и компенсирует тепловое расширение. После чего нагретый воздух, проходя через сетчатый фильтр, поступает в ТКР. Заслонка 5 на входе в ТКР позволят регулировать подачу воздуха в систему. Параметры воздуха (температура и давления) замеряются непосредственно на входе и выходе турбокомпрессора с помощью датчиков полного и статического давления 6, хромель-алюминиевых термопар. Расход воздуха контролируется расходомерной диафрагмой 1. Все показания преобразуются в цифровой код и выводятся на экран компьютера с помощью аналогово-цифрового преобразователя.

Для расчета и построения характеристик стенда в ходе эксперимента измеряются следующие параметры:

– Полное и статическое давление воздуха на входе в компрессор и турбину
– Полное и статическое давление на выходе из компрессора и турбины
– Расход воздуха
– Температура воздуха перед турбиной и компрессором
– Температура воздуха за турбиной и компрессором

– Частота вращения турбокомпрессора

Проанализировав эти параметры, мы выводим максимально эффективный режим работы турбокомпрессора и режимы, неблагоприятные для работы системы.

DETERMINATION OF TURBOCHAPRESSOR CHARACTERISTICS

Yakovlev M., Sulamanidze A.
Supervisor: A. Gimbicki, PhD, assistant
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The report is devoted to the principles of the turbocharger and its advantages. The stand for determining the characteristics of a turbocharger is considered.

УДК 62-784.3

РАЗРАБОТКА ГЛУШИТЕЛЯ ШУМА ДВС МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТАМ

Суховая Е.А., Теляшов Д.А., Никитин М.А.
Научный руководитель: Г.И. Павлов, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Беспилотные летательные аппараты широко используются в военном деле в разведывательных целях. Однако из-за высокого акустического излучения они становятся уязвимыми для противника и легко могут быть уничтожены. Авторами данной статьи предлагается эффективная модель глушителя шума ДВС малой мощности, относящаяся к реактивному типу глушителей.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), оснащенные специальным оборудованием весьма эффективно используются во многих сферах: для получения объективной информации в чрезвычайных ситуациях, наблюдения за транспортными потоками на дорогах, изучения состояния сельскохозяйственных полей и т д. БПЛА незаменимы в военном деле. С их помощью можно вести разведку целей, наносить точечные удары, вести аэросъемку позиций противника и т д.

БПЛА представляют собой телеуправляемые аппараты с различной степенью автономности. В качестве силового агрегата в БПЛА часто используют двигатели внутреннего сгорания (ДВС). По сравнению с другими силовыми двигателями ДВС отличаются высокой надежностью и обеспечивают большой запас полетного времени. Вместе с тем, использование в составе БПЛА ДВС превращает летающий аппарат в источник теплового и акустического излучений, что, в свою очередь, делает его уязвимым и «видимым» на местности для систем обнаружения летательных аппаратов.

Основным демаскирующим фактором современных БПЛА является повышенное акустическое излучение ДВС малой мощно-

сти. Из литературы [1] известно, основной причиной шума выхлопа являются колебания давления в виде периодически повторяющихся импульсов в потоке выпускных отработавших газов. Поэтому для снижения шума выхлопа газов следует уменьшать интенсивность пульсаций давления отработавших газов и препятствовать распространению шума через систему выхлопных газов в окружающее пространство. Для этой цели на выпуске двигателей применяют глушители шума.

Ранее авторами были предложены перспективные конструктивные схемы глушителей для одноцилиндрового двигателя, суть которых описаны в работе [2]. В ходе опытов установлено, что реактивный тип глушителей шума является наиболее предпочтительным для ДВС малой мощности. Снижение шума в таких глушителях происходит за счет дробления потока газов, движущегося со скоростью близкой к звуковой, на мелкие струи и организации на маршруте движения газов различных препятствий. Кроме того, в предложенных глушителях потери акустической энергии происходят за счет интерференции звуковых волн в противофазе.

Целью данной работы является разработка эффективного глушителя шума для ДВС малой мощности применительно к беспилотным летательным аппаратам. В процессе исследования необходимо было решить следующие задачи: разработать теоретическую модель глушителя, содержащего полуэллипсовидную камеру с перфорацией; исследовать акустические характеристики разрабатываемого глушителя шума; проверить адекватность теоретической модели.

Объектом исследования являлся глушитель шума с внутренней полуэллипсовидной камерой (рис. 1). Данный глушитель относится к реактивному типу глушителей и его принцип действия основан на многократном отражении потока выхлопных газов от различных препятствий на своем пути, в частности, от полуэллипсовидной камеры. Камера расположена под определенным углом к потоку газов на входе в глушитель. При отражении звуковых волн от внутренней камеры 3 и прохождении через перфорированную перегородку 4 происходит образование новых источников звуковых колебаний одинаковой частоты с разными фазами. Эти волны

многократно отражаются от стенок глушителя и образуют сложную интерференционную картину. Результатом этого будет являться существенное снижение акустической энергии в полости глушителя.

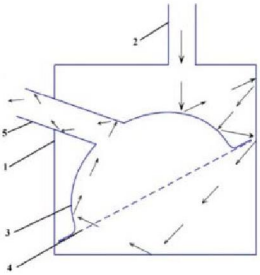
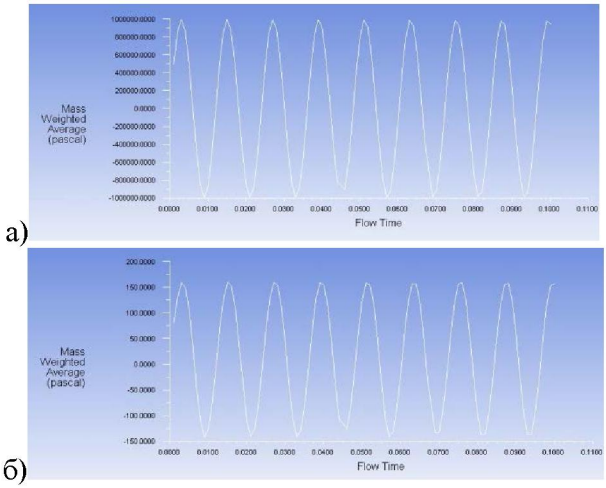


Рис. 1. Схема глушителя с внутренней полуэллипсовидной камерой:
1 - корпус цилиндрической формы; 2 - входной патрубок;
3 - полуэллипсовидная камера; 4 - перфорированная перегородка;
5 - выходной патрубок

В ходе работы проводились теоретические исследования в программном комплексе «ANSYS Fluent 14.0». Проводился расчет газодинамических характеристик модели глушителя шума с полуэллипсовидной камерой в двумерном измерении. За основу была взята k-ε модель турбулентности, в которой для описания турбулентных характеристик использовалась система двух нелинейных дифференциальных уравнений - турбулентной энергии k для массовой плотности и турбулентной энергии ε для скорости диссипации. На входе в глушитель задавался пульсирующий поток давления на частоте вращения вала двигателя 5000 об/мин. На рисунке 2 показано изменение амплитуды полного давления выхлопных газов при прохождении через глушитель. Из рисунка видно, что расчетное значение уровня пульсаций давления в исследуемой модели глушителя уменьшается с 1МПа до 160Па, что свидетельствует о высокой эффективности работы глушителя.



а)

б)

Рис. 2. Пульсации полного давления в глушителе при частоте вращения вала двигателя 5000 об/мин а) на входе в глушитель и б) на выходе из глушителя

Для исследования акустических характеристик и проверки адекватности теоретической модели разрабатываемого глушителя шума был изготовлен испытательный стенд (Рис. 3).

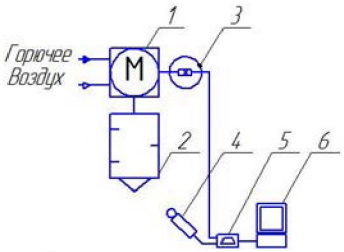


Рис. 3. Схема испытательного стенда:
1 - карбюраторный двигатель; 2 - глушитель шума; 3 - датчик Холла; 4 - микрофон; 5 - шумомер; 6 - ЭВМ

Стенд представлял собой сварную раму, на которой монтировался двухтактный карбюраторный двигатель малой мощности 1 Racet – 120 от БПЛА. Для измерения частоты вращения вала двига-

теля к маховику был прикреплен датчик Холла 3, подключенный к измерительному комплексу «Экофизика 110А» 5. Акустические характеристики ДВС малой мощности без глушителя и с исследуемым типом глушителя шума 2 определялись на среднем режиме работы двигателя. Частота вращения вала двигателя в данном режиме составляла 5000 об/мин. Акустический сигнал записывался с помощью микрофона 4, расположенного на расстоянии 3-х метров под углом 45° к выхлопной струе. Далее для получения частотных спектров (Рис. 4 а, б) записи сигналов обрабатывалась на ЭВМ 6 с помощью программного комплекса «Signal+». В ходе опытов одновременно с акустическим сигналом измерялось газодинамическое сопротивление в тракте глушителя с помощью водяного U-образного манометра.

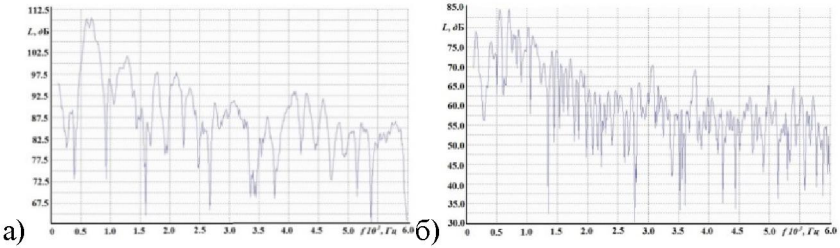


Рис. 4. Частотный спектр акустического сигнала в зоне выхлопа ДВС малой мощности при частоте вращения вала двигателя, равной 5000 об/мин а) без глушителя и б) с глушителем

Из анализа частотных спектров акустических сигналов ДВС малой мощности без глушителя и с глушителем видно, что «энергонесущими» частотами являются средние частоты в диапазоне 600– 800 Гц (Рис. 4а). Предлагаемый глушитель шума значительно снижает уровни звукового давления на этих частотах с 110дБ до 85 дБ. При этом эквивалентный уровень звука уменьшается на 16,5 дБ с 106 дБА до 89,5 дБА. Другой немаловажный показатель эффективности работы глушителя шума как газодинамическое сопротивление составляет 176,5 Па, что не превышает аналогичные показатели других видов глушителей.

На основании вышеизложенных результатов можно прийти к выводу о том, что разработанный глушитель шума с конструктивными элементами в виде полуэллипсовидной камеры и перфорированной перегородки снижает шум выхлопа на 16,5 дБ в диапазоне «энергонесущих» частот от 600 Гц до 800 Гц. Частота вращения вала двигателя при этом равнялась 5000 об/мин, что соответствует маршевому режиму полета БПЛА.

Список литературы

1. Скобцов Е.А. Методы снижения вибраций и шума дизелей / Е.А. Скобцов, А.Д. Изотов, Л.В. Тузов. - Л. :Машгиз, 1962. - 192 с.

2. Павлов Г.И. Экспериментальные исследования глушителей шума разной конструкции, предназначенные для ДВС малой мощности / Г.И. Павлов, Е.А. Суховая, Д.А. Теляшов. // Проблемы тепломассообмена и гидродинамики в энергомашиностроении: Материалы докладов X школы-семинара молодых ученых и специалистов академика РАН В.Е. Алемасова. Казань, 13 – 15 сентября 2016г. – Казань: КазНЦ РАН, 2016. – С. 351-354.

DEVELOPMENT OF A SILENCER OF LOW POWER INTERNAL COMBUSTION ENGINE FOR DRONES

Sukhovaya E., Telyashov D., Nikitin M.
Supervisor: G. Pavlov, doctor of technical sciences and professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Drones are widely used by security agencies with the purpose of surveillance and intelligence areas. However, due to high acoustic emissions in an exhaust of internal combustion engine they become vulnerable to detection systems. The authors of this article propose an effective model of silencer in an exhaust of low power internal combustion engine, which belongs to the reactive type mufflers.

УДК 621.452.3.034

УСТАНОВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ УПРАВЛЯЮЩИХ ФАКТОРОВ – МЕСТА И УГЛА ПОДАЧИ ТОПЛИВА ПЕРЕД СТАБИЛИЗАТОРОМ ПЛАМЕНИ ФОРСАЖНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ С БАЗОВЫМИ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Тесля Д.Н.
Научный руководитель: С.А. Маяцкий, к.т.н., доцент
(Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж)

Предложен новый подход в формировании управляющего фактора системы автоматического управления подачей топлива в форсажную камеру сгорания. Проведенное численное и экспериментальное исследование позволяет определить взаимосвязь управляющих факторов и параметрами рабочего процесса в форсажной камере сгорания.

Проводимые исследования специалистами Федерального государственного унитарного предприятия «Центрального института авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» [1] показывают значительное влияние на рабочий процесс в форсажной камере сгорания факторов внешней среды. Согласно исследованиям, полнота сгорания в циркуляционной зоне потока форсажной камеры сгорания изменяется в пределах от 0,55 до 0,85. Изучены аспекты влияния на полноту сгорания топлива параметров газового потока на входе в форсажную камеру сгорания и параметров распыла топлива. В указанной работе специалистами ЦИАМ рассмотрено изменение параметров газового потока по тракту форсажной камеры сгорания при заданных конструктивных особенностях фронтового устройства форсажной камеры сгорания.

В настоящее время система организации рабочего процесса в форсажной камере сгорания в силу недостаточной изученности не обеспечивает максимально эффективное сгорание топлива в циркуляционной зоне потока форсажной камеры сгорания. Этот недо-

статок обуславливает необходимость экспериментального определения габаритных размеров форсажной камеры сгорания для обеспечения высокого значения полноты сгорания топлива на выходе из форсажной камеры сгорания [2,3].

Данная работа посвящена обоснованию места и угла подачи топлива в газовый поток как управляющих факторов в системе автоматического управления подачи топлива в форсажную камеру сгорания.

Проведены численные и экспериментальные исследования влияния места и угла подачи топлива перед стабилизатором пламени. Что позволило уточнить ранее полученные специалистами ЦИАМ данные о процессах образования топливовоздушной смеси перед стабилизатором пламени и влияния изменения места и угла подачи топлива на полноту сгорания в циркуляционной зоне потока форсажной камеры сгорания. Проведено исследование динамики изменения параметров рабочего процесса в исследуемой области при изменении места и угла подачи топлива перед стабилизатором пламени с целью обеспечения высокого значения полноты сгорания топлива.

Анализ изменения рабочего процесса проводился на основе верификации данных, полученных экспериментально на разработанной и созданной экспериментальной установке, численным расчетом программами одномерного моделирования и трехмерного моделирования в программном комплексе ANSYS. Осуществление подхода верификации результатов исследований, примененный в исследовательской работе, позволяет с достаточной степенью достоверности определять параметры газового потока в проточной части исследуемой области.

Проведенные исследования позволяют выявить взаимосвязь изменения параметров рабочего процесса в проточной части исследуемой области от изменения места и угла подачи топлива в газовый поток перед стабилизатором пламени. Это обеспечивает возможность организации рабочего процесса, при котором будет обеспечено заданное значение полноты сгорания в циркуляционной зоне потока форсажной камеры сгорания.

Список литературы

1. Кудрявцев А.В., Медведев В.В. Форсажные камеры и камеры сгорания ПВРД. Инженерные методики расчета характеристик. Москва: ЦИАМ, 2013. 113 с.

2. Пахольченко А.А. и другие. Теория авиационных двигателей: Функциональные элементы серийных силовых установок: учебное пособие / А.Н. Черкасов, А.А. Алексеев, Г.П. Корень, В.А. Москаев Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. 231 с.

3. Основы конструирования, производства и эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей и энергетических установок в системе CALS технологий: в 3 кн. / Н.Н. Сиротин, А.С. Новиков, А.Г. Пайкин, А.Н. Сиротин. – 2-е изд., перераб. и доп. М. : Наука, 2011. 1087 с.

STELLEN SIE DIE BEZIEHUNG KONTROLLIERBAREN FAKTOREN - SEAT WINKEL UND TREIBSTOFFEN STABILISATOR NACHBRENNER VERBRENNUNG MIT DEM GRUNDMODUS DES BETRIEBS DER GASTURBINENMASCHINE FLAMME

Teslya D.

Scientific adviser: S. Mayatsky, Ph.D., associate professor

(The military training and research center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor NE Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Voronezh)

A new approach is proposed in the formation of the control factor of the automatic control system for fuel supply to the afterburner. The performed numerical and experimental research allows determining the relationship of control parameters to the work process in the afterburner combustion chamber.

УДК 532.529

ТЕЧЕНИЕ ГАЗОВЗВЕСИ В КАНАЛЕ ИЗ СООСНЫХ ЦИЛИНДРОВ

Тукмакова Н.А.
Научный руководитель: В.Г. Тонконог, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В работе представлены модель и результаты расчёта течения метановой смеси в соосном канале трубы Фильда. Динамика среды описывается системой уравнений движения многоскоростного многотемпературного континуума с учётом обмена импульсом и энергией между несущей средой и дисперсными фракциями. В результате расчетов получены гидродинамические характеристики движения газовзвеси.

Течение газовзвесей в каналах со сложной геометрией исследуется для получения гидро- и термодинамических параметров течения в различных технологических устройствах, в том числе в трубных подогревателях сжиженного природного газа. Такие устройства предназначены для подогрева жидкостей, газов и их смесей и могут быть использованы для подогрева природного газа на входе газораспределительных станций.

Известно одно их конструктивных исполнений технологического нагревателя сжиженного природного газа [1] (рис. 1). Основным элементом устройства является тепловоспринимающий элемент (ТВЭЛ), выполненный в виде соосного канала (трубы Фильда). Режим работы устройства определяется тем, насколько оптимально происходит процесс тепломассообмена между горелочным устройством и нагреваемой средой.

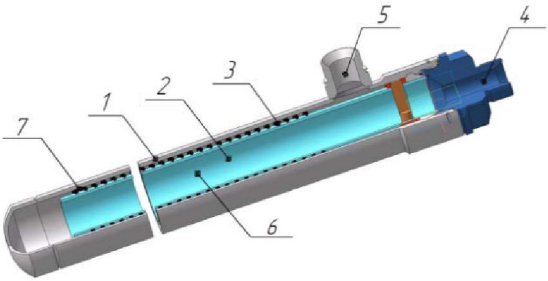


Рис. 1. Схематическое изображение технологического нагревателя в разрезе. 1 – внешняя теплообменная труба (ТТ), 2 – внутренняя ТТ, 3 – интенсификатор теплоотдачи, 4 – входной штуцер нагреваемой среды, 5 – выходной штуцер нагреваемой среды, 6 – внутренняя полость ТТ 2, 7 – внешняя полость, образованная кольцевыми зазорами между внешней (1) и внутренней (2) ТТ

Нагреваемая среда, например очищенный природный газ, из магистрального трубопровода поступает через штуцер 4 во внутреннюю полость 6 внутренней теплообменной трубы (ТТ) 2, затем выходит через открытый конец внутренней ТТ 2, разворачивается и попадает во внешнюю полость 7, образованную кольцевым зазором между внешней 1 и внутренней 2 ТТ. Нагретый в кольцевых зазорах ТТ газ поступает в выходной штуцер 5 и транспортируется к блоку редуцирования газораспределительной станции.

Пусть метановая смесь состоит из парообразного метана и взвешенных в нём капельных фракций метана.

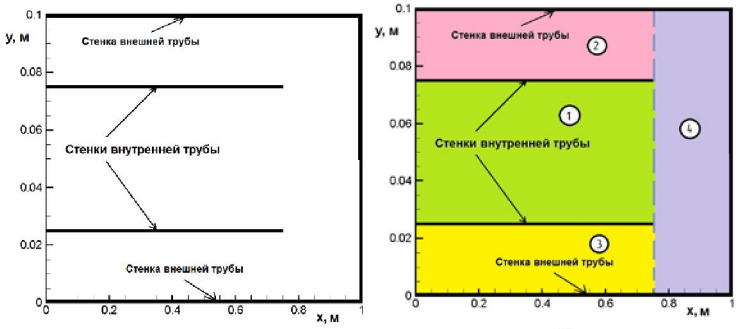
Для описания движения газовзвеси использовалась модель динамики несущей среды с дисперсными фракциями, отличающимися размерами и физическими свойствами. Система уравнений движения несущей среды включает в себя уравнение неразрывности, уравнения сохранения составляющих импульса и уравнение сохранения полной энергии с учётом обмена импульсом и энергией с дисперсной фазой. Дисперсная фаза описывается системой из уравнения сохранения средней плотности фракции, уравнений сохранения составляющих импульса и уравнения сохранения тепловой энергии [2, 3] с учётом теплообмена между несущей средой и дисперсной фракцией.

В качестве термического уравнения состояния для несущей среды было применено широкодиапазонное уравнение состояния Бенедикта-Вебба-Рубина [4]:

$$p = RT\rho + \left(BRT - A - \frac{C}{T} \right)\rho - (bRT - a)\rho + a\alpha\rho + \frac{c\rho}{T}(1 + \gamma\rho)\exp(-\gamma\rho).$$

Система уравнений движения газовзвеси записывалась в обобщенных криволинейных координатах [5, 6, 7] и решалась методом предиктор-корректор второго порядка со схемой нелинейной коррекции.

В начальный момент времени газовзвесь находится во взвешенном состоянии и равномерно заполняет расчётную область (рис. 2, а). В качестве начальных условий задавались плотность несущей среды, средняя плотность дисперсных фракций, давление на входе и выходе канала. На твёрдых границах расчётной области задавались условия прилипания для скоростей несущей и дисперсных фракций. Расчёты велись на блочно-структурированных сетках, построенных для четырёх областей (рис. 2, б). Граничные условия на линиях стыковки блоков сшивались с учётом направления течения. Каждый блок обозначен цифрой и выделен цветом.



а б

Рис. 2. Схематическое изображение расчётной области трубы Фильда (а). Разбиение расчётной области на подобласти (б)

На основе описанной модели были проведены расчёты течения монодисперсной газовзвеси с радиусом частиц 1 мкм и полу-

чены его гидродинамические характеристики. На рис. 3 изображено векторное поле скоростей несущей среды в соосном канале в момент времени $t = 0.0166$ с. Поток газовзвеси втекает через внутреннюю теплообменную трубу, затем вытекает из неё, обтекает границы внутренней трубы с образованием вихрей и далее течёт вдоль внешней теплообменной трубы.

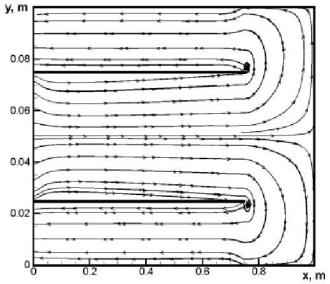


Рис. 3. Векторное поле скоростей несущей среды в момент времени $t = 0.0166$ с.

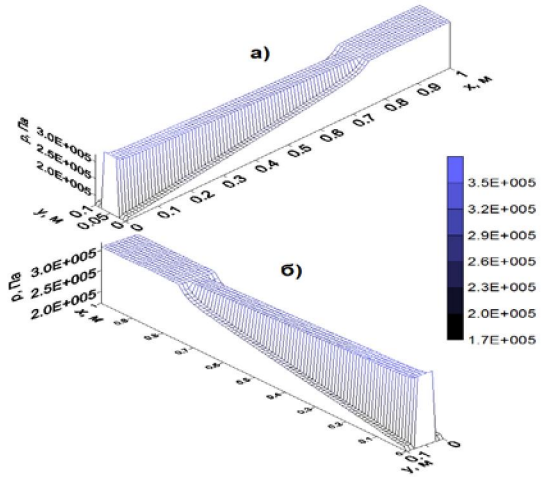


Рис. 4. Пространственное распределение давления несущей среды в момент времени $t = 0.0166$ с.

На рисунке 4 показано пространственное распределение давления несущей среды во внутренней трубе со стороны нижней половины теплообменной трубы (а), и со стороны верхней половины теплообменной трубы (б) в момент времени t = 0.0166 с.

На рисунке 5 показано пространственное распределение плотности несущей среды (а, б) и средней плотности дисперсной фракции (в, г) в момент времени t = 0.0166 с.

Анализируя полученные пространственные зависимости скорости и плотности несущей среды, получаем выполнение балансового соотношения для потока массы, движущегося через внутреннюю и внешнюю теплообменные трубы. Так как размер частиц мал и мало скоростное скольжение фаз, то движение дисперсной фракции повторяет движение несущей среды.

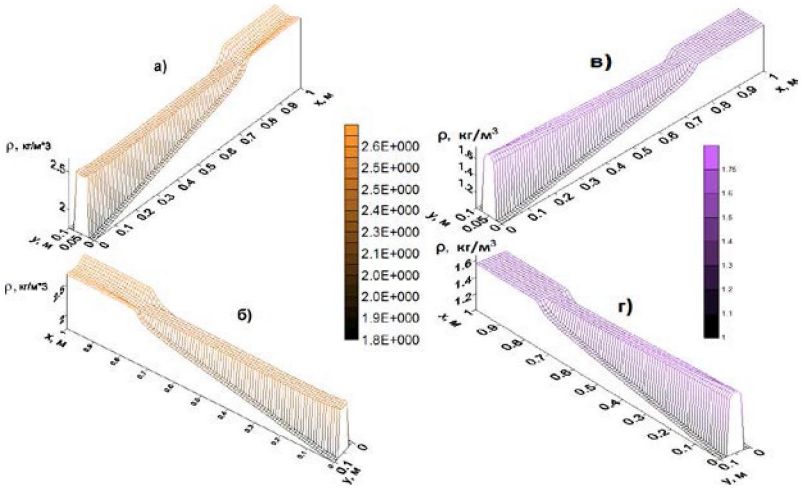


Рис. 5. Пространственное распределение плотности несущей среды (а, б) и средней плотности дисперсной фракции (в,г) в момент времени t=0.0166 с

Таким образом, построена математическая модель, позволяющая описывать течение газовзвеси в соосном канале трубы Фильда и рассчитывать гидродинамические параметры потока.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 17-48-160359 р_а.

Список литературы

1. Серазетдинов Б.Ф., Серазетдинов Ф.Ш., Тонконог В.Г. Технологический нагреватель. Патент на изобретение № 2467260. Приоритет 11.01.2011. Зарегистрирован в Гос.реестре изобретений РФ 20.11.2012.

2. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Часть 1. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1987. 464 с.

3. Кутушев А.Г. Математическое моделирование волновых процессов в аэродисперсных и порошкообразных средах. // Санкт-Петербург. Изд-во Недра. 2003. 283 с.

4. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. // 3-е изд., перераб. и доп. Л.: «Химия». Ленинградское отделение, 1982. 496 с.

5. Тукмаков А.Л., Тонконог В.Г., Арсланова С.Н. Волновая коагуляция полидисперсной газовзвеси в технологии газификации и криостатирования сжиженного природного газа // Акустический журнал. 2016. Т.62. №1. С.125-131.

6. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Т.2. – М.: Мир. 1991. – 551 с.

7. Steger J.L. Implicit Finite-Difference Simulation of Flow about Arbitrary Two-Dimensional Geometries. // AIAA J. 1978. V.16. №7. P.679–686.

FLOW OF THE GAS-SUSPENSION IN THE CHANNEL FROM COAXIAL CYLINDERS

Tukmakova N.
Supervisor: V. Tonkonog, PhD in Engineering, docent
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The model and results of calculation of the methane mixture flow in the coaxial channel of the Field tube are presented. Dynamics of the medium is described by the system of the movement equations of a multi-speed multitemperature continuum with exchange of an impulse and energy between the carrying medium and disperse fractions. As a result of calculations hydrodynamic characteristics of the movement of a gas-suspension are received.

УДК 621.694

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЭЖЕКТОРОВ

Халиулин Р.Р. [1]***, Семичев С.А.*** [2]

(1-Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, 2-«Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань)

Представлены основные факторы, влияющие на эффективность работы эжекторов. Представлены результаты исследований одно- и двухфазных эжекторов.

Различные смесительные устройства используются во многих сферах техники [1-7]. В представленной работе проведен анализ факторов, влияющих на работу эжекторов, применяемых с целью увеличения мощности двигателя и для смешения жидкостей в определенной пропорции.

В общем случае эжектор имеет следующие элементы (рисунок 1): 1 – сопло эжектирующего потока; 2 – сопло эжектируемого потока; 3 – камера смешения; 4 – диффузор.

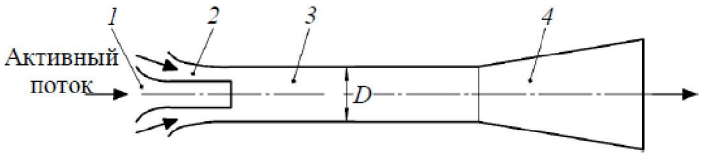


Рис. 1. Конструктивная схема эжектора,
где D – диаметр камеры смешения

При проектировании эжекторных устройств необходимо учитывать как энергетические параметры (потери полного давления, коэффициент эжекции и др.), так и конструктивные (отношение площадей, длины камеры смешения (для газовых эжекторов – 6-8 D) и диффузора (4-6 D) и др.). Для оценки эффективности работы эжектора используют

коэффициент эжекции $n = G_2 / G_1$, где G_2 - расход эжектируемого потока, G_1 - расход эжектирующего потока [1, 4-7].

В большинстве эжекторов, независимо от агрегатного состояния смешиваемых потоков, определяющим параметром является геометрический параметр F_3 / F_1, где F_3 - площадь камеры смешения, F_1 - площадь сопла активного потока. В двухфазных эжекторах одним из факторов, влияющих на эффективность, является использование многосоплового аппарата вместо одного сопла [1, 6], за счет чего увеличивается площадь эжектирующей поверхности и более равномерно заполняется камера смешения водовоздушной эмульсией.

Как было показано в работе [5], оптимальная организация подвода пассивного потока позволяет существенно снизить габаритные характеристики газового эжектора (рисунок 2), а также увеличить коэффициент эжекции [5].

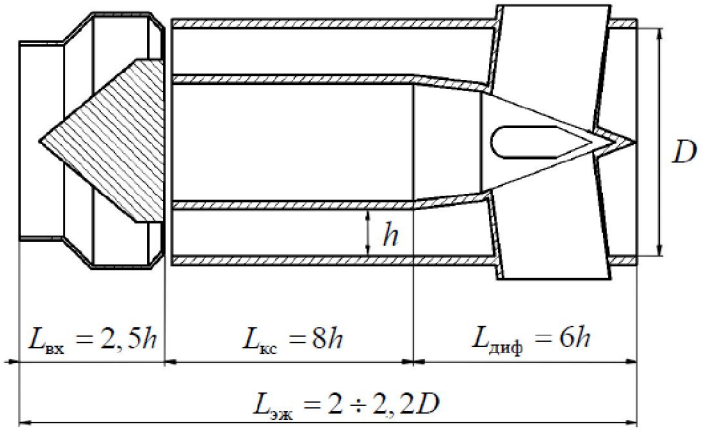


Рис. 2. Схема газового эжектора,
где h – высота кольцевой камеры смешения

В жидкостных эжекторах, коэффициент эжекции может быть увеличен, за счет создания профиля скорости с максимумом на срезе

сопла со стороны подвода пассивного потока [2-4]. Впервые это предложено на эжекторе с криволинейной осью [7].

Список литературы

1. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. - 3-е изд. перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 352 с.

2. Панченко В.И., Сыченков В.А., Халиулин Р.Р., Александров Ю.Б., Мухаметгалиев Т.Х., Давыдов Н.В. Разработки кафедры «РДЭУ». Реактивные двигатели и энергетические установки. Материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 70-летию основания кафедры ракетных двигателей Казанского авиационного института (КАИ) (г. Казань, 21-22 мая 2015 г.). - Изд-во Казан. ун-та, 2015. С. 223-229

3. Кузьмин В.А., Панченко В.И., Сыченков В.А., Бикбулатов Р.Р. Методики расчета эжекторов, применяемых в промышленности и энергетике// Современная наука: идеи, исследования, результаты, технологии. Сборник научных статей. Выпуск 2(10). – Киев: «НПВК Триакон», 2012. с. 92-95.

4. Сыченков В.А., Панченко В.И., Халиулин Р.Р., Сыченкова Е.В. «Исследование характеристик кольцевых эжекторов и эжекторов с криволинейным входом» Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева № 2, 2013.

5. Sychenkov V.A., Panchenko V.I., Khaliulin R.R. Analysis of a coaxial gas ejector. Russian Aeronautics (Iz VUZ), April 2014, Volume 57, Issue 2, p. 141–147.

6. Ефимочкин Г.И. Влияние конструкции сопла на работу струйного эжектора // Электрические станции. 1964.№5, с.7-11.

7. Васильев Ю.И. Газовый или паровой эжектор с криволинейной осью системы Ю.И. Васильева. Авторское свидетельство на изобр. СССР, №123279, кл. F 04f5/30. Бюл.изобр.№20, 1959 г.

RESEARCH OF THE MAIN FACTORS AFFECTING ON THE EFFICIENCY OF THE EJECTOR WORK

Khaliulin R.*[1]*, Semichev S. [2]
(1-Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan,
2-Kazan National Research Technological University, Kazan)

The main factors affecting on the efficiency of the ejectors work are described. The results of investigations of one- and two-phase ejectors are presented.

УДК 621.694

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХФАЗНОГО, ПЛОСКОГО ЭЖЕКТОРА С ПОПЕРЕЧНЫМ ПОДВОДОМ ВОЗДУХА

Халиулин Р.Р.
Научный руководитель: В.А. Сыченков, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Представлены результаты исследования двухфазного эжектора с поперечным подводом воздуха. Определена требуемая длина камеры смешения для полного смешения воды и воздуха в зависимости от геометрического параметра (отношения площади камеры смешения к площади активного сопла).

Эжекторные устройства получили широкое применение в технике, они используются для удаления воздуха из конденсаторов турбин, для смешения жидкостей и газов и др. [1-4].

Двухфазные эжекторы до сих пор малоизучены из-за сложности протекающих в них процессов. Важной характеристикой эжектора является требуемая длина для смешения [1]. Она может составлять от 10 до 50 калибров [1]. В большинстве случаев рабочими компонентами являются вода и воздух. Для определения необходимой длины камеры смешения плоского водовоздушного эжектора (рисунок 1) проведена представленная работа.

Исследование влияния геометрического размера F_3/F_1 на длину участка смешения осуществлялось изменением площади съемных сопел активного потока F_1, в которых сделано по 4 сопла диаметром $Ø0{,}5\cdot10^{-3}$; $Ø1\cdot10^{-3}$; $Ø1{,}5\cdot10^{-3}$; $Ø2\cdot10^{-3}$ м. Сопла сделаны по середине пластины и распределены равномерно по прямоугольному сечению камеры смешения для обеспечения полного заполнения однородной водовоздушной смесью. Геометрический параметр F_3/F_1 при исследовании менялся F_3/F_1= 318,5; 79,6; 35,4; 19,9.

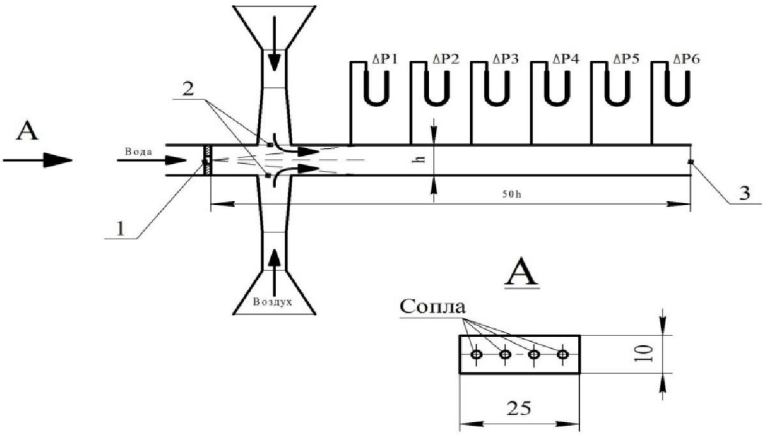


Рис. 1. Схема экспериментального плоского эжектора

Величина разряжения ΔP_i, создаваемая водовоздушной смесью, замерялась по длине камеры смешения также с помощью U-образных пьезометров в 6 местах i=1…6. По величине статического давления на стенке можно судить о завершенности процесса смешения (рисунок 2).

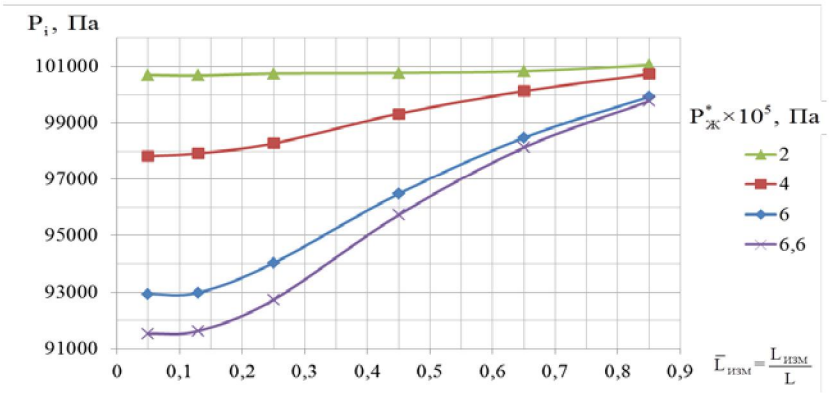


Рис. 2. Зависимость изменения статического давления водовоздушной смеси по длине камеры смешения плоского эжектора в зависимости от рабочего давления воды на входе в активное сопло для диаметра сопел Ø2•10^{-3} м

Визуальный контроль однородности потока осуществлялся через прозрачные боковые стенки.

По результатам всех испытаний получено, что наибольшая требуемая длина для полного смешения составляет 25h (h=0,01 м - калибр высота плоского канала).

Список литературы

1. Соколов Е.Я., Зингер ИМ. Струйные аппараты. - 3-е изд. перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 352 с.

2. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки. - Л.: Машиностроение. Ленинградское отд-ние, 1988. - 256 с.

3. Кузьмин В.А., Панченко В.И., Сыченков В.А., Бикбулатов Р.Р. Методики расчета эжекторов, применяемых в промышленности и энергетике// Современная наука: идеи, исследования, результаты, технологии. Сборник научных статей. Выпуск 2(10). – Киев: «НПВК Триакон», 2012. с. 92-95.

4. Сыченков В.А., Панченко В.И., Халиулин Р.Р., Сыченкова Е.В., «Исследование характеристик кольцевых эжекторов и эжекторов с криволинейным входом» Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева № 2, 2013.

RESEARCH OF THE TWO-PHASE FLAT EJECTOR WITH THE TRANSVERSE AIR SUPPLY

Khaliulin R.

Supervisor: V. Sychenkov, Candidate of Engineering Sciences, associate professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The results of the research of the two-phase ejector with the transverse air supply are presented. The required length, depending on the geometric parameter (the ratio of the area of the mixing chamber to the area of the active nozzle), of the mixing chamber for complete mixing of water and air is determined.

УДК 536.722

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В МИРЕ

Хаустов Д.А., Дегтярев Л.В.
Научный руководитель: А.М. Царева, кандидат технических наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

На сегодняшний день возобновляемые источники энергии (ВИЭ) становятся все более популярны, причем не только отдельно взятыми людьми, но и регионами стран и странами в частности. На наш взгляд, это связано с рядом причин: во-первых, это более экологично, нежели привычные заводы сейчас, которые выпускают в окружающую среду большое количество вредных веществ; во-вторых, это обеспечит необходимое количество энергии регионам, которые крайне нуждаются в этом; в-третьих, такие источники энергонезависимы.

Аргументы в пользу развития возобновляемых источников энергии в мире:

1. Необходимость обеспечения постоянно возрастающих потребностей населения

Население Земли растет и развивается, следовательно, растут и потребности людей в энергии. На сегодняшний день люди стали опасаться ядерной энергетики вследствие аварий на станциях. Так же ее развитие пока что не так активно как раньше. Связано это с тем, что эффективность такой энергетики может быть достигнута изобретениями новых реакторов, но пока что нет определенных сроков, когда это может произойти. По сравнению с ядерной энергетикой, использование возобновляемых источников энергии безопаснее и продуктивнее в силу неисчерпаемости ресурсов.

2. Необходимость обеспечить нуждающиеся регионы энергией

Многие страны просто не могут добывать источники энергии (нефть, газ, уголь) в силу того что на территории их страны нет такой возможности. Транспортировка ископаемых стоит немалых денег. Из-за этого в мире могут появиться экономические пробле-

мы и кризисы. Возобновляемые источники энергии способны решить данную проблему для большинства стран.

3. Обеспечение экологической безопасности

Порядка 50% всех вредных выбросов в окружающую среду связано с энергетикой. На данный момент потребности людей в энергии составляют примерно 1/5000 всей солнечной энергии, поступаемой на поверхность Земли. Возобновляемые источники энергии значительно экологичнее, они способны уменьшить выброс вредных веществ в окружающую среду.

Недостатки возобновляемых источников энергии:

- Возобновляемые источники энергии характеризуются, как правило, небольшой плотностью энергетических потоков: солнечное излучение - менее 1 кВт на 1 $м^2$, ветер при скорости 10 м/с и поток воды при скорости 1 м/с - около 500 Вт на 1 $м^2$. В то время как в современных энергетических устройствах, мы имеем потоки, измеряемые сотнями киловатт, а иногда и мегаваттами на 1 $м^2$ [1].
- Исходя из первого недостатка следует, что необходимо, чтобы работало большое количество установок (ветряки, солнечные панели и т.п.) для конкурентоспособности с привычными для нас источниками энергии. В этом и заключается вторая проблема: дорогостоящие оборудование и его обслуживание.
- Не всегда и не в любом месте целесообразно использовать те или иные возобновляемые источники энергии. Из-за климата и погодных условий они будут вырабатывать незначительное количество энергии.

ВИЭ в мире.

К 2016 году суммарная мощность возобновляемые источники энергии 785, 9 ГВт – и это без учета гидроэнергетики! При этом доля возобновляемых источников энергии в мировом производстве электроэнергии достигла 23,7%.

Солнечная генерация выросла с 5,1 ГВт в 2005 году до 227 ГВт к началу 2016 года.

Ветряки повысили свою мощь за это же время с 59 до 433 ГВт [2].

Эксперты приходят к выводу, что солнечная фотоэлектрическая энергетика (включая затраты на соответствующие накопители

энергии) может производить 23% мировой электроэнергии к 2040 г и 29% к 2050 г, полностью заменив угольную генерацию.

Эксперты Гринпис так же сделали свои выводы по поводу перехода на возобновляемые источники энергии с точки зрения задачи человечества удержать повышение температуры на планете в пределах 2 градусов. Они сказали, что если в мире не перейдут на возобновляемые источники энергии к 2050 году, то достичь данной цели уже не удастся.

Данные с Дайджеста в мае 2017

В мае 2017 в Голландии запущена одна из крупнейших ветровых электростанций. Ветропарк насчитывает 150 турбин общей мощностью 600 МВт, что позволяет покрыть потребности почти 780 тыс.домов. К слову, данный проект стоит порядка 3 млрд долларов. До 2050 года Голландия будет стремиться полностью перейти на возобновляемые источники энергии.

В Англии к 2020 году планируется достроить крупнейший ветропарк , мощностью 1.8 ГВт. Он будет включать в себя 300 ветряков, что позволит обеспечить потребности 1.8 млн домов. Стоимость проекта по предварительным данным оценивается в 730 млн фунтов.

В Японии строят солнечную электростанцию, мощность которой составит 260 МВт. Проект оценивается в 430 млн долларов и будет достроен к 2019. На данный момент в Японии работает 42ГВт солнечной энергетики, что позволяет стране занимать 3 место по выводу солнечной энергии. Но потеснить Японию стремится Индия, целью которой является выработка 100 ГВт солнечной энергии к 2022 году.

В Иране с начала этого года было открыто 3 солнечных электростанции общей мощностью 24 МВт.

По итогам 2016 года Китай довела показатель мощности солнечных электростанций до 85ГВт. А на первый квартал 2017 года было введено 7,21 ГВт солнечных энергостанций. Таким образом, спустя всего 3 месяца от начала года, эффективность производства была повышена на 80 % по сравнению с тем же периодом 2016.

На данный момент лидерами по вводу солнечной генерации являются Китай, США, Индия, Япония.

Такие цифры говорят о том, что уже сейчас возможна замена современной энергетики на возобновляемые источники энергии во многих сферах. Так, например, Польский городок Киселиц с населением 2300 человек смог полностью перейти на возобновляемую энергию. Сам город располагается на открытой местности посреди сельскохозяйственных угодий, что позволяет по полной использовать две ветряные фермы с 48 турбинами.

Как можно заметить, развитие возобновляемых источников энергии в мире довольно актуально. Большинство стран, имеющих возможность активно развиваться в этой сфере, пытаются частично или полностью заменить угольную, газовую, атомную и другую энергетику на возобновляемые источники энергии. Продвижение в этой сфере стран – лидеров, подобно геометрической прогрессии, увеличивается с каждым годом в разы по сравнению с прошлогодними результатами.

ВИЭ в России.

Как известно, Россия богата своими ископаемыми и занимает лидирующие позиции по добыче нефти, газа и угля в мире. 2/3 добытых ископаемых экспортируются в другие страны, что приносит в бюджет страны порядка 18% от ВВП.

Однако Россия имеет огромный потенциал для ВИЭ. По подсчетам ученых Россия может добиться показателя в 40% от потребляемой энергии. Но реальные цифры сильно отличаются: изначально планировалось, что к 2020 году ВИЭ в России будет 4.5%, затем эта цифра уменьшилась до 2.5%, позже государство заявила , что это реализуется лишь к 2024 году. На данный момент эта цифра не превышает 1%.

Ситуация в стране такова, что:

- 2/3 территории страны с населением около 20 млн человек находится вне сетей централизованного энергоснабжения. Это - районы страны с наиболее высокими ценами и тарифами на топливо и энергию.
- Лишь порядка 50% городского и 35% сельских населенных пунктов газифицированы.

Для таких районов вопрос о переходе на ВИЭ является еще более актуальным.

Но учитывая нынешнюю экономику страны, можно сказать, что масштабный переход на возобновляемые источники энергии осуществить крайне тяжело. В силу того, что окупаемость проектов занимает большой промежуток времени, следует: первое время будет необходимо лишь вкладывать средства в данные проекты, не получая при этом явной прибыли, а это большой удар по бюджету страны. И хотя ВВП нашей страны входит в топ 10, осуществить даже частичный переход на возобновляемую энергетику в ближайшие годы не представится возможным.

Список литературы

[1] http://energoveter.blogspot.ru/2016/03/blog-post_17.html
[2] http://bellona.ru/2016/11/09/bellona-conference-renewable/

RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE WORLD

Khaustov D., Degtyarev L.
Scientific adviser: A. Tsareva, Candidate of Technical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

To date, renewable energy sources (RES) are becoming more popular, not only by individuals, but also by regions of countries and countries in particular. In our opinion, this is due to a number of reasons: Firstly, it is more environmentally friendly than the usual plants now, which release a large number of harmful substances into the environment; Secondly, it will provide the necessary amount of energy to the regions that are in dire need of it; Thirdly, such sources are non-volatile.

УДК 54-13/-16

ПОСТРОЕНИЕ ИЗОТЕРМ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ С ПОЛЯРНЫМИ И НЕПОЛЯРНЫМИ МОЛЕКУЛАМИ

Чибирев П.А., Ахунов А.А.
Научный руководитель: А.Л. Тукмаков, д.ф.-м.н., с.н.с.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной работе выполнено построение линий, изображающих на термодинамической диаграмме изотермический процесс для двух веществ - метана и воды, с использованием уравнения состояния Бенедикта-Вебба-Рубина и уравнением состояния предложенным Н.М. Кузнецовым.

При технологических расчетах процессов переработки газов и жидкостей необходимо определять термодинамические свойства веществ и их смесей, энтальпию, плотность, энтропию, летучести и равновесия. Для определения этих свойств используют уравнения состояния, которые устанавливают связь между температурой, объемом и давлением системы. Использование единого уравнения для представления таких различных термодинамических свойств имеет ряд преимуществ, появляется возможность получать термодинамически согласованные значения величин, рассчитываемых по уравнению, легче производить интерполяцию и экстраполяцию экспериментальных данных [1].

При использовании различных уравнений состояния для построения изотермы вещества особое внимание необходимо уделять химическим соединениям, молекулы которых обладают электрическим дипольным моментом. Для полярных веществ, в сравнении с неполярными, характерны высокая диэлектрическая проницаемость, повышенные температура кипения и температура плавления. Молекулы, которые образованы атомами разных элементов, могут быть полярными и неполярными. Это зависит от геометрической формы. Если форма симметрична, то молекула неполярна, например CH_4 (метан), если асимметрична, то молекула полярна,

например H_2O – химическая формула воды.

При корреляции термодинамических и волюметрических данных как для жидкой, так и для паровой (газовой) фазы легких углеводородов и их смесей особенно ценно, рассматриваемое нами уравнение состояния Бенедикта-Вебба-Рубина [2]. В первоначальном виде уравнение было выведено для расчета термодинамических свойств и фазового равновесия 12 углеводородов, в последующем область применения уравнения была расширена до 33 углеводородов и 9 неуглеводородных веществ. Предложенное уравнение состояния имеет следующий вид:

$$p = \rho RT + (B_0 RT _ A_0 - \frac{C_0}{T^2})\rho^2 - (bRT - a)\rho^3 + a\alpha\rho^6 + \frac{c\rho^3}{T^2}(1+\gamma\rho^2)\exp(-\gamma\rho^2),$$

где коэффициенты a, A_0, b, B_0, c, C_0, α, γ, определяются в зависимости от плотности, давления и температуры вещества [2].

На рисунке 1 приведен пример построения изотермы метана (CH_4) при температуре 172K.

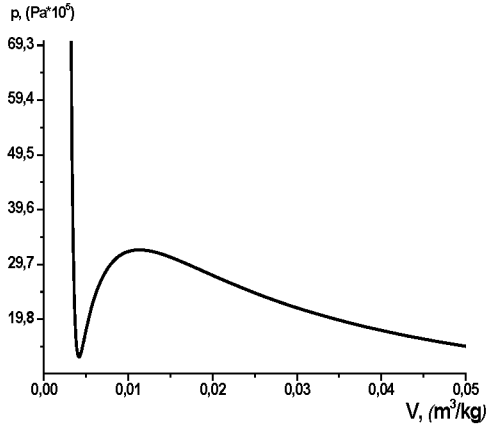


Рис. 1. Изотерма CH_4 при температуре 172K

С помощью приведенной изотермы на рисунке 1 можно наглядно увидеть три области с различными фазовыми состояниями: область, где метан находится в жидком состоянии, область с

двухфазной парокапельной смесью и область, где метан принимает газообразное состояние.

По утверждению некоторых авторов [3], уравнение Бенедикта — Вебба — Рубина не дает возможность получить достаточно точные параметры для большинства полярных жидкостей и воды в частности. Автором [4] была разработана обобщающая модификация уравнения и приведены данные для 92-х веществ, в том числе воды.

Для построения изотермы полярного вещества будем использовать уравнение состояния, полученное Н.М. Кузнецовым для воды [5], путем интерполяции результатов вычислений:

$$p = \xi^4 - 470\rho f\xi + 4.7\rho ft$$

Здесь

$$\xi = 6.6(1-\rho)^{0.57} \cdot \rho^{0.25} \text{ при } 0 \le \rho < 0.8$$

$$\xi = 10(1-\rho) + 66(1-\rho)^2 - 270(1-\rho)^3 \text{ при } 0.8 \le \rho \le 1$$

Данная формула определяет искомое уравнение состояния воды. Погрешность уравнения состояния в области имеющихся экспериментальных данных составляет в среднем $\Delta p/p \approx 5\%$. На рисунке 2 приведен пример построения изотермы воды (H_2O) при температуре 363K.

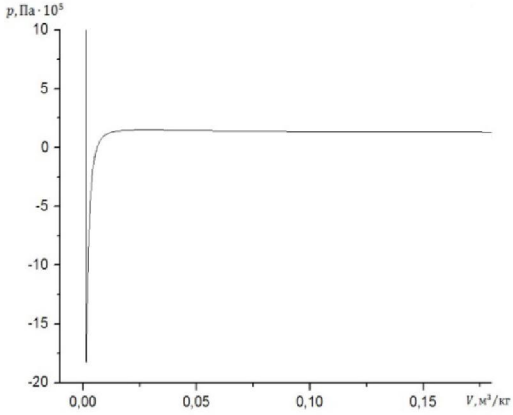


Рис. 2. Изотерма H_2O при температуре 363K

Список литературы

1. Берлин М.А., Гореченков В.Г., Волков Н.П. Переработка нефтяных и природных газов. М.: Химия, 1981. - 472 с.

2. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: Справочное пособие / Пер. с англ. под ред. Б. И. Соколова. — 3-е изд. — Л.: Химия, 1982. — 592 с.

3. Hopke S. W. Application of equations of state in Exxon's production operations // ACS Symposium Series. — 1977. — Т. 60. — С. 221—223.

4. Nishiumi H. An improved generalized BWR equation of state with three polar parameters applicable to polar substances. // Journal of Chemical Engineering of Japan. — 1980. — Т. 13, вып. 3. — С. 178—183.

5. Кузнецов Н.М. Уравнение состояния и теплоемкости воды в широком диапазоне термодинамических параметров // Прикладная механика и техническая физика. №1, 1961. С.112-120.

CONSTRUCTION OF ISOTHERM FOR DESCRIPTION OF BEHAVIOR OF LIQUIDS AND GASES WITH POLARIC AND NONPOLAR MOLECULES

Chibirev P., Ahunov A.

Supervisor: A. Tukmakov, Dr. Sc. (Phys.-Math.), senior researcher

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this paper, the construction of lines depicting the isothermal process for two substances - methane and water, using the Benedict-Webb-Rubin equation of state and the equation of state proposed by N. Kuznetsov - is depicted in the thermodynamic diagram.

УДК 536.242

ТЕПЛООТДАЧА ОТНОСИТЕЛЬНО КОРОТКИХ ТРУБ С ЗАКРУЧЕННЫМИ ЛЕНТОЧНЫМИ ВСТАВКАМИ

Шайдуллин Р.А.
Научный руководитель: А.Б. Яковлев, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Представлены результаты экспериментального исследования теплоотдачи относительно коротких труб со вставками в виде скрученных лент при однофазном течении дистиллированной воды. По результатам экспериментов построены зависимости коэффициента теплоотдачи относительно коротких труб с ленточными вставками по длине канала. На основе анализа экспериментальных данных получены обобщающие зависимости для расчета теплоотдачи в таких каналах.

Вставки в виде скрученных лент (рисунок 1) являются недорогим и эффективным устройством интенсификации теплообмена в каналах различного теплообменного оборудования, функционирующего при высоких тепловых нагрузках при одно- и двухфазном течениях теплоносителя. Скрученные ленты просты в изготовлении, легко размещаются в каналах различной формы, с их помощью можно относительно легко провести модернизацию существующего тепломасообменного оборудования.

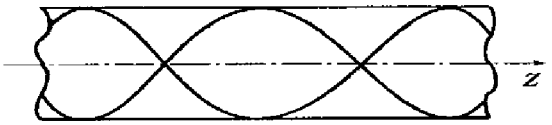


Рис. 1. Продольное сечение трубы с закрученной ленточной вставкой

Характерными размерами скрученных ленточных вставок являются толщина ленты δ, ее ширина (обычно равная диаметру канала d) и шаг закрутки s при повороте ленты на 180°. Относительный шаг за-

крутки s/d определяет степень закрутки ленты: чем величина s/d меньше, тем больше степень закрутки.

Известно большое количество работ по изучению теплоотдачи труб с закрученными ленточными вставками, наиболее полные обзоры этих работ представлены в [1, 2]. Однако большинство этих исследований выполнено в относительно длинных каналах при стабилизированном течении. Как известно, величина коэффициентов теплоотдачи в относительно коротких каналах может значительно отличаться от соответствующих значений при стабилизированном течений, что связано с формированием на начальном участке пограничного слоя и профилей температур и скорости [3]. В связи с этим в данной работе проведено исследование теплоотдачи труб со скрученными ленточными вставками при нестабилизированном течении.

Исследование проведено в трубе с внутренним диаметром d=18 мм и длиной L=350 мм при течении дистиллированной воды с осевым входом и выходом. Для разрушения сформировавшегося на входе пограничного слоя в начале трубы устанавливалась кольцевая диафрагма с высотой и шириной выступа 1 мм. Подвод теплоты проводился омическим способом, т.е. прямым пропусканием электротока по трубе, изготовленной из нержавеющей стали. В экспериментах использовались скрученные ленты с s/d=2,5; 3,0; 3,5; 4,5.

Результаты тестовых опытов по теплоотдаче короткой трубы без ленты при числах Рейнольдса Re_x>200000 (где $Re_x=wx/\nu$, x – удаление от входа, w – средняя скорость потока, ν – коэффициент кинематической вязкости среды) показали удовлетворительное согласование (в пределах ±5%) с расчетными значениями, определенными по известным формулам А.С. Сукомела и др. [3]. Это подтверждает работоспособность экспериментальной установки и достоверность получаемых экспериментальных данных.

На рисунке 2 представлена характерная зависимость числа Нуссельта $Nu=\alpha d/\lambda$ (здесь α – коэффициент теплоотдачи, λ – коэффициент теплопроводности среды) по длине трубы со вставленной скрученной лентой при различных параметрах s/d.

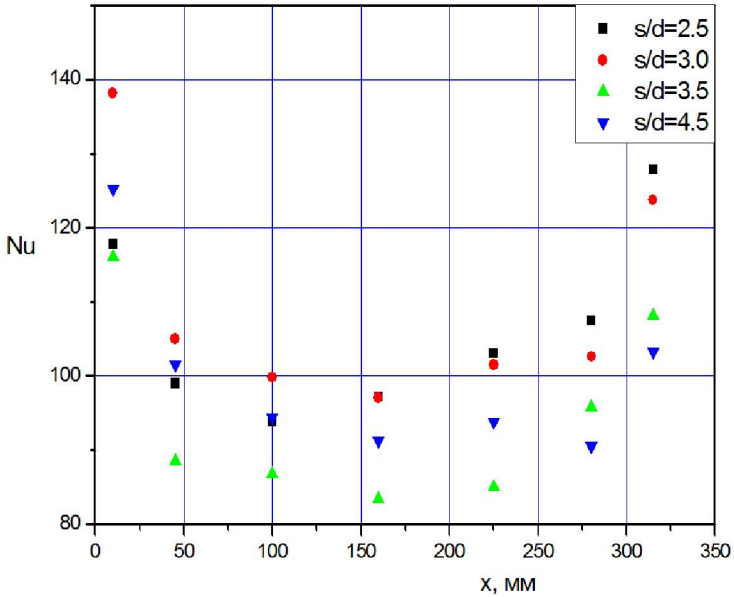


Рис. 2. Изменение числа Нуссельта по длине канала при ρw=593 кг/(м^{2}с), q=192 кВт/м^2, $t_{вх}$=46 °С

Как видно на рисунке 2 на начальном участке теплоотдача по длине канала снижается. На входе теплоотдача имеет максимальные значения в результате возмущения потока на входе при его взаимодействии с диафрагмой и торцом ленты. Далее теплоотдача снижается по длине вследствие роста толщины гидродинамического пограничного слоя. Затем теплоотдача начинает расти по длине, что связано с переходом от ламинарного пограничного слоя к турбулентному и формированием собственно закрученного течения.

Экспериментальные данные по теплоотдаче на начальном участке стабилизации были представлены в виде зависимости приведенного значения числа Нуссельта по длине канала $Nu_x/Pr^{0,43}$ (здесь $Nu_x=\alpha x/\lambda$, Pr – число Прандтля) от числа Рейнольдса Re_x (рисунок 3), как это сделано в работе [3] для обычных труб. При представлении результатов в таком виде экспериментальные данные не расслаиваются по длине канала.

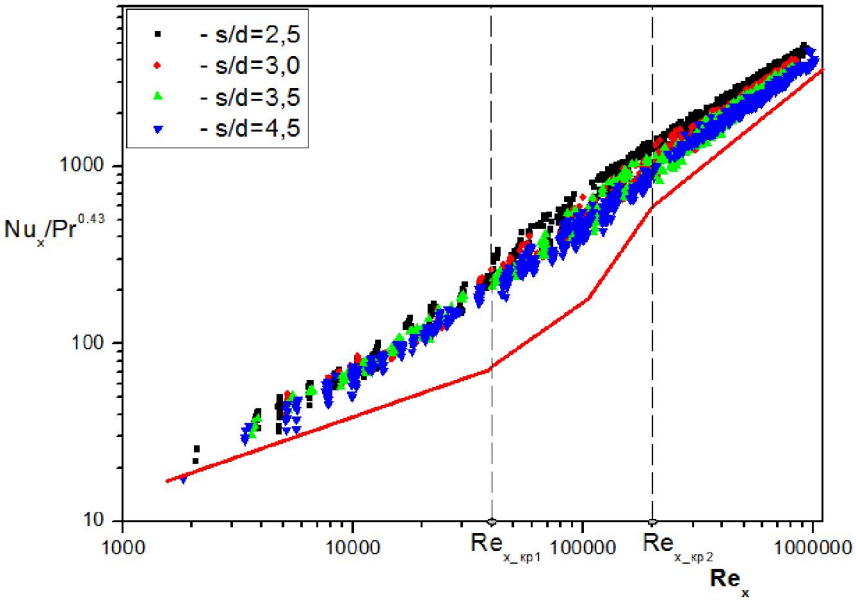


Рис. 3. Зависимость теплоотдачи труб с ленточными вставками от числа Рейнольдса Re_x: точки – экспериментальные данные, линии – расчет для прямой трубы по данным [3]

Очевидно, что с повышением степени закрутки ленточной вставки (понижением относительного шага *s/d)* теплоотдача возрастает. Кроме того, отмечены три области, в которых меняется степень влияния числа Рейнольдса, что связано со сменой режимов течения: при некотором критическом значении $Re_{x_кр1}\approx40000$ происходит переход от ламинарного режима течения к переходному, при $Re_{x_кр2}\approx200000$ – смена переходного режима на турбулентный.

На основе анализа результатов экспериментов были получены обобщающие расчетные зависимости расчета теплоотдачи отдельно для каждого режима течения в следующем виде:

при $Re_x\leq40000$

$$Nu_x = 0,069Re_x^{0,78}Pr^{0,43}(s/d)^{-0,23}, \qquad (2)$$

при $40000<Re_x\leq200000$

$$Nu_x = 0,026 Re_x^{0,91} Pr^{0,43} (s/d)^{-0,47}, \quad (2)$$

при Re_x>200000

$$Nu_x = 0,108 Re_x^{0,8} Pr^{0,43} (s/d)^{-0,51}. \quad (3)$$

Обобщающие уравнения (1)-(3) описывают экспериментальные данные с максимальным отклонением ±20 % при доверительной вероятности 0,95.

Список литературы

1. Manglik R. M., Bergles A.E. Swirl Flow Heat Transfer and Pressure Drop with Twisted-Tape Inserts // Advances in Heat Transfer. 2002. Vol. 36. Pp. 183-266.

2. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М.: Машиностроение. 1980. 240 с.

3. Сукомел А.С., Величко В.И., Абросимов Ю.Г. Теплообмен и трение при турбулентном течении газа в коротких каналах. М.: Энергия. 1979. 216 с.

HEAT TRANSFER IN RELATIVELY SHORT TUBES WITH TWISTED TAPE INSERTS

Shaidullin R.
Supervisor: A. Yakovlev, Assoc. Prof.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The experimental results of heat transfer in relatively short tubes with twisted tape inserts at water flow are presented. The charts of dependences of Nusselt number vs. length of the channel are plotted. The generalizing dependences for calculation of heat transfer in such channels are derived.

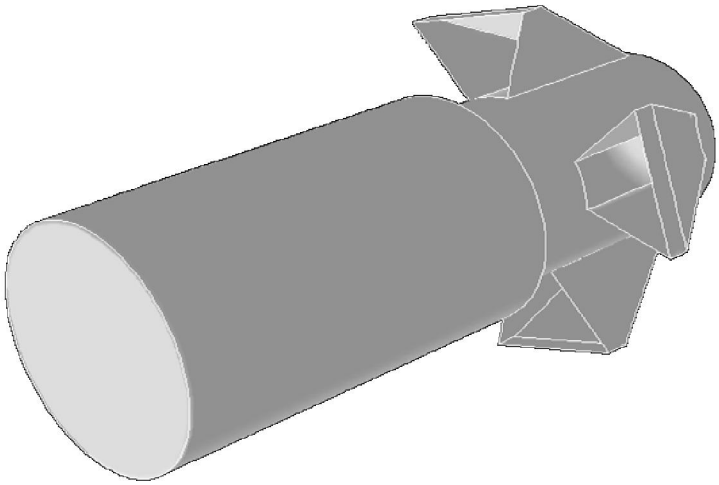
УДК 621.43.056.536.46

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ В ПРОТИВОТОЧНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ

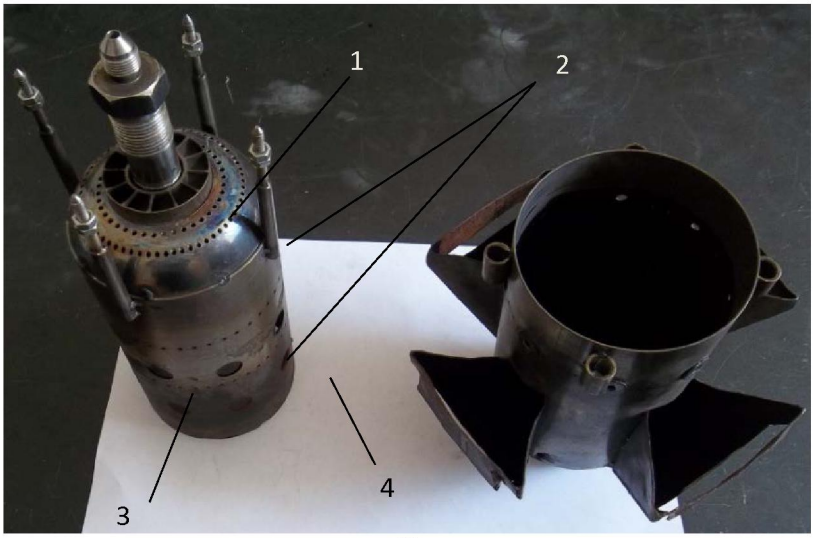
Юсеф В.М., Давыдов Н.В.
Научный руководитель: В.А. Сыченков, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассматриваются вопросы моделирования рабочего процесса в противоточной камере сгорания, с применением численных методов расчетов в ПО ANSYSFluent.

Противоточная камера сгорания, в которой направление движения потока газа внутри жаровой трубы противоположно направлению движения воздуха снаружи жаровой трубы. Такая схема применяется для того чтобы сократить длину КС с незначительным увеличением наружного диаметра КС. В данной работе была рассмотрена новая схема противоточной КС рис.1.



а)



б)

Рис.1. Геометрическая модель КС.1–Фронтовое устройство (завихритель); 2– щели охлаждения; 3– отверстия подвода воздуха в первичной зоне; 4 – отверстия подвода воздуха в зонесмешения

Эта КС применяется в теплогенераторе (тепловая пушка), который состоит из спаренных вентиляторов (высоконапорных), противоточной камеры сгорания оригинальной схемы, предотвращающих выбросы искр, блока автоматики, контролирующего работу устройства, топливной емкости и подвижной платформы, предусматривающей фиксацию положения. Расчетное время непрерывной работы на одной заправке 4 часа. Электричество подается через кабель от бортовой сети корабля 380В.Схема установки представлена на рис. 2.

Применяемая здесь КС позволяет сократить требуемую длину для смещения воздуха с продуктами сгорания и получить нужную температуру.

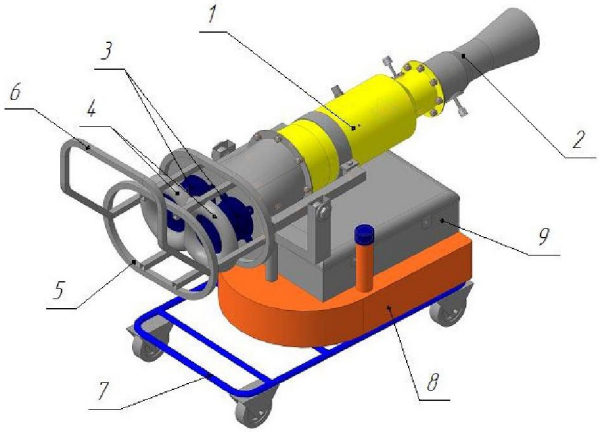


Рис. 2. Состав теплогенератора.1 – Теплогенератор;2 – распылитель; 3 – два вентилятора;4 – две лемнискаты;5 – каркас для сетки;6 – ручка; 7 – рама;8 – топливный бак;9 – коробка датчиков

В настоящей работе представлена: численная модель и результаты расчета с последующим сопоставлением с серией экспериментов проведенных напротивоточной камере сгорания.

Для разработки численной модели в расчетной области препроцессором Gambit была сгенерирована сетка, содержащая ≈3млн. гексаэдральных, клиновидных и тетраэдральных элементов с качеством по скошенности не более 0,85. Сетка была адаптирована к геометрии КС с применением сгущений в пристеночных областях, в отверстиях и вблизи размещения форсунки, для разрешения течений в области пограничного слоя.

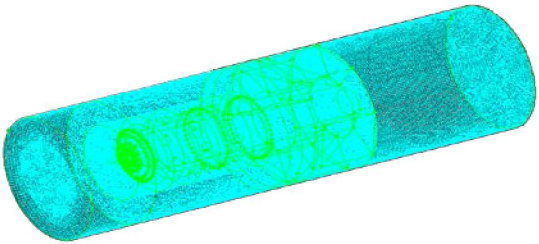


Рис. 3. Сетка малоразмерной КС

При проведении анализа была принята следующая модель течения: многокомпонентное химически реагирующее турбулентное течение со впрыском факела испаряющихся жидких частиц. Модель турбулентности – стандартная k-εсо стандартной функцией стенки.

В качестве модели горения была принята простейшая модель объемного реагирования, включавшая одну химическую реакцию «брутто».

Теплоемкость продуктов сгорания рассчитывалась как теплоемкость смеси идеальных газов $C_p = \sum C_{pi} m_i$, где C_{pi}и m_i – теплоемкость и массовая доля компонент смеси.

В результате расчета получено распределение температуры и скорости в сечении, проходящем через ось завихрителя (рис.4, 5, 6).Как видно основной процесс горения при $\alpha_{\sum}$=4 начинается в первичной зоне и продолжается за первым поясом основных отверстий.

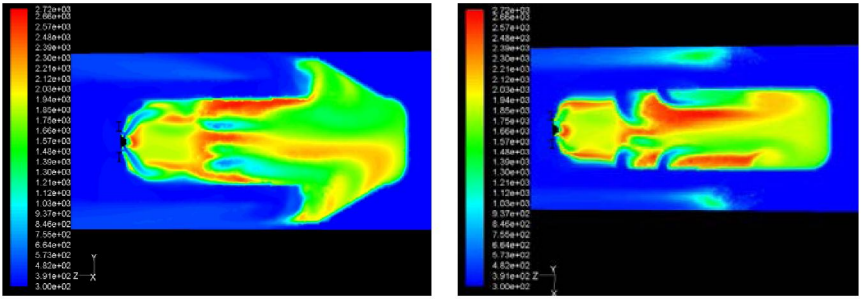
При этом в первичной зоне процесс горения следующий: характер течения таков, что имеются области прямого тока в пристеночной области с температурой ≈1000К и обратного тока (к форсунке) в приосевой области температурой ≈1800К рис.4, 5, 6, т.е. процесс горения начинается вблизи фронтового устройства, к которому подходят газы возвращающиеся (рециркулирующие) из зоны соударения струй первого пояса. Эти газы имеют Тг≈1800К, они и поджигают свежую смесь, выходящую из фронтового устройства.

Далее в зоне догорания та часть смеси которая проходит между отверстии первого пояса догорает до конца с тем же $\alpha_{пз}$ вблизи к стенкам. Горение в приосевой области незначительно при этом приосевая и пристеночная области разделенные областью низких температур ≈900К рис.4а.

Часть смеси, которая вышла из первичной зоны смешивается с воздухом струй первого пояса и начинается выгорание вновь образованной смеси в приосевой зоне. Горение на периферии мене интенсивно. Струи второго пояса подмешивается к приосевому течению и снижают его температуру.

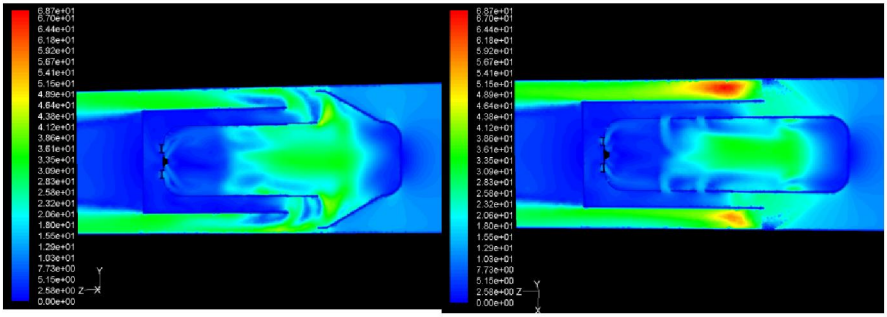
Это говорит о том, что для расчета горения можно применять реакторную схему, в которой первичная зона – реактор идеального смешения, а зона догорания реактор вытеснения.

Далее продукты сгорания поворачиваются на 180^0 и смешиваются с воздухом. Смешения происходит на короткой длине [1, 2, 3].



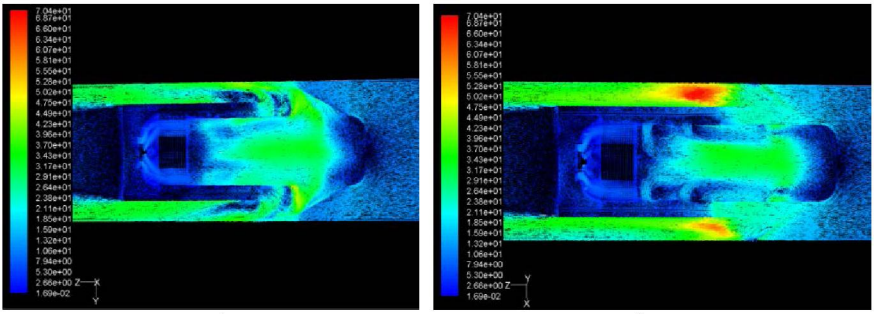
а) б)

Рис. 4. Поля температур внутри камеры сгорания в разных сечениях, α_{Σ}=4. а) между отверстиями жаровой трубы, б) по отверстиям жаровой трубы



а) б)

Рис. 5. Поля скоростей в камере сгорания в разных сечениях по оси форсунки. а) между отверстиям жаровой трубы, б) по отверстиям жаровой трубы



а) б)

Рис. 6. Векторная картина течения в камере сгорания в разных сечениях по оси форсунки. а) между отверстиями жаровой трубы, б) по отверстиям жаровой трубы

Список литературы

1. Longwell J. P., Weiss A. A. High temperature reaction rates in hydrocarbon combustion. – Ind. and Eng. Chem., 1955, vol. 47, N 8, p. 1634 – 1643.

2. Дорошенко В. Е. О процессе горения в камерах ГТД – Тр. ЦИАМ, 1959, с. 25 – 28.

3. Янковский В. М., Моделирование зоны горения камер сгорания ГТД. – Изв. вузов. Авиационная техника, 1986, №1, с. 73-76.

ESTIMATED RESEARCH OF COMBUSTION PROCESS IN THE COUNTER-FLOW COMBUSTION CHAMBER

Yousef W.; Davydov N.
Supervisor: V. Sychenkov, candidate of technical sciences, docent
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this paper authors provides a modeling workflow of the COUNTER-FLOW combustion chamber, using numerical calculation methods in the ANSYSFluent software.

УДК 621.43.056.536.46

ПРОТИВОТОЧНОЕ ФРОНТОВОЕ УСТРОЙСТВО КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД

Юсеф В.М., Мухаметгалиев Т.Х.
Научный руководитель: В.А. Сыченков, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассматриваются вопросы противоточного фронтового устройства камеры сгорания второго контура ТРДД, с применением численных методов расчетас помощью ПО ANSYSFluent.

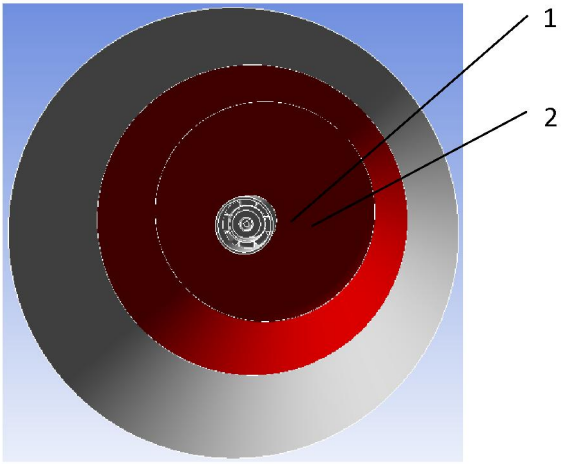
Фронтовое устройство снабжено горелочными модулями, расположенными в наружном и внутреннем концентричных рядах, каждый из которых снабжен топливной форсункой и осевым завихрителем воздуха. Фронтовое устройство дополнительно снабжено кольцевым стабилизатором пламени с топливовоздушными патрубками, равнорасположенными по окружности, размещенным между концентричными рядами модулей, кольцевыми щелевыми отверстиями подачи воздуха, расположенными между кольцевым стабилизатором пламени и концентричными рядами модулей. Система подачи топлива снабжена тремя каналами, где первый канал соединен с наружным рядом модулей, второй канал соединен с внутренним рядом модулей, а третий канал соединен с топливными форсунками патрубков кольцевого стабилизатора пламени. Запальные свечи размещены над наружным рядом модулей. Закрутка воздушного потока в каждом осевом завихрителевыполнена в одну сторону, кроме осевых завихрителей, расположенных напротив запальных свеч, в которых выполнена противоположная закрутка потока воздуха. Фронтовое устройство позволяет снизить уровень эмиссии вредных веществ, улучшить условия зажигания в камере сгорания и повысить компактность камеры сгорания. То есть, фронтовое устройство используется для создания закрутки потока и создания зоны обратных токов, для снижения скорости и создания гомогенной смеси топлива и воздуха.

В данной работе представлен новый тип фронтового устройства (противоточное фронтовое устройство) рис.1.Воздух высокого давления P_v^* отбираемый от компрессора первого контура двигателя поступает в завихритель фронтового устройства далее смешивается с топливом и образованная смесь в виде закрученной струи выходит на встречу набегающему потоку воздуха P_w^*. Далее образуются зона обратных токов,являющаяся стабилизаторомгорения.

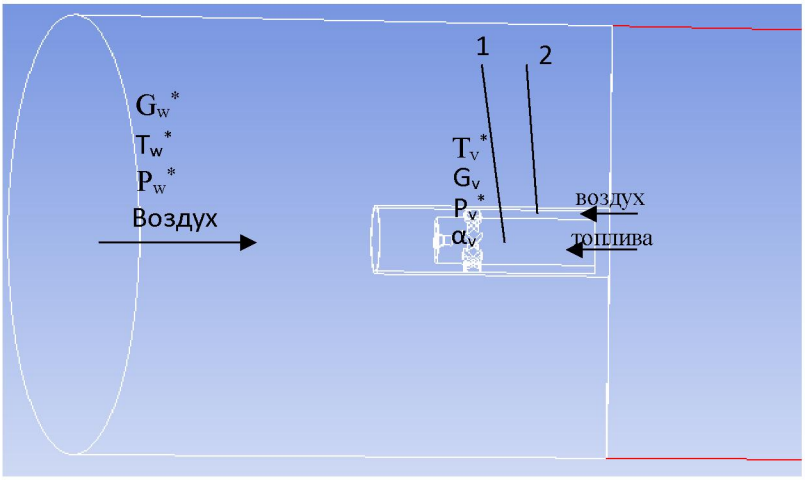
Процесс горения протекает в приосевой зоне КС. На выходе из которой достигаются необходимые значения температуры и скорости потока $W_{II}= W_{I}$и $T_{II}= T_{I}$.

W_{II}, T_{II} – скорость и температура на выходе из сопла второго контура.

W_{I}, T_{I} – скорость и температура на выходе из сопла первого контура.



а)



б)

Рис. 1. Геометрическая модель фронтового устройства.1–форсунка; 2–завихритель

Для разработки численной моделив расчетной области препроцессором Gambit была сгенерирована сетка, содержащая ≈0,49млн. гексаэдральных, клиновидных и тетраэдральных элементов с качеством по скошенности не более 0,82. Сетка была адаптирована к геометрии КС с применением сгущений в пристеночных областях, в отверстиях и вблизи размещения форсунки, для разрешения течений в области пограничного слоя рис.2.

Объектом исследования является цилиндрическая КС D_w=150мм и фронтовое устройство d_v=20мм. Параметры на входе в КС и фронтовое устройство:

G_w=453.3г/с; G_v=13.3г/с;g_T=6.24г/с; $\alpha_v=G_v/(g_T*L_o)$=0.15;

$\alpha_\Sigma=(G_w+G_v)/(g_T*L_o)$=4.03;$T_v^*=T_w^*$=500K; $q_v=(\rho_{v*}V^2)/(\rho_{w*}W^2)$=36.5053;

W=28.11м/с; V=138.08м/с;

Где: q_v – Гидродинамический параметр, W и V– скорость, T_v^*и T_w^*– температура, α – коэфициент избытка воздуха.

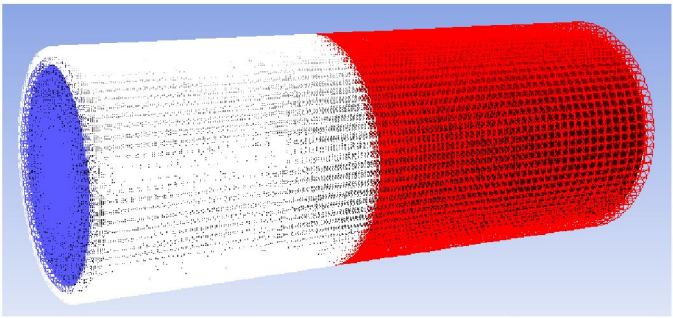


Рис. 2. Сетка малоразмерной КС

При проведении анализа была принята следующая модель течения: многокомпонентное химически реагирующее турбулентное течение со впрыском факела испаряющихся жидких частиц. Модель турбулентности – стандартная k-εсо стандартной функцией стенки.

В качестве модели горения была принята простейшая модель объемного реагирования, включавшая одну химическую реакцию «брутто».

Теплоемкость продуктов сгорания рассчитывалась как теплоемкость смеси идеальных газов $C_p = \sum C_{pi} m_i$, где C_{pi}и m_i – теплоемкость и массовая доля компонент смеси.

В результате расчета полученораспределение температуры и скорости по длине КС в сечении, проходящем через ось завихрителя, определяющие размеры зоны обратных токов. Это устройство отличатся от других устройств меньшей потерей давления на режимах без горения(рис. 3,4,5), а стабилизация пламени обеспечивается в широком диапазоне изменения давления.

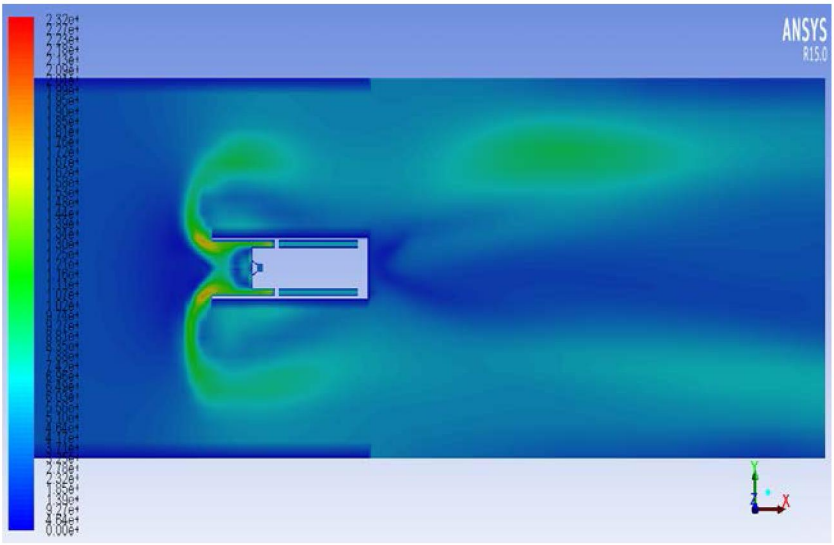


Рис. 3. Поля скоростей в сечения по оси форсунки

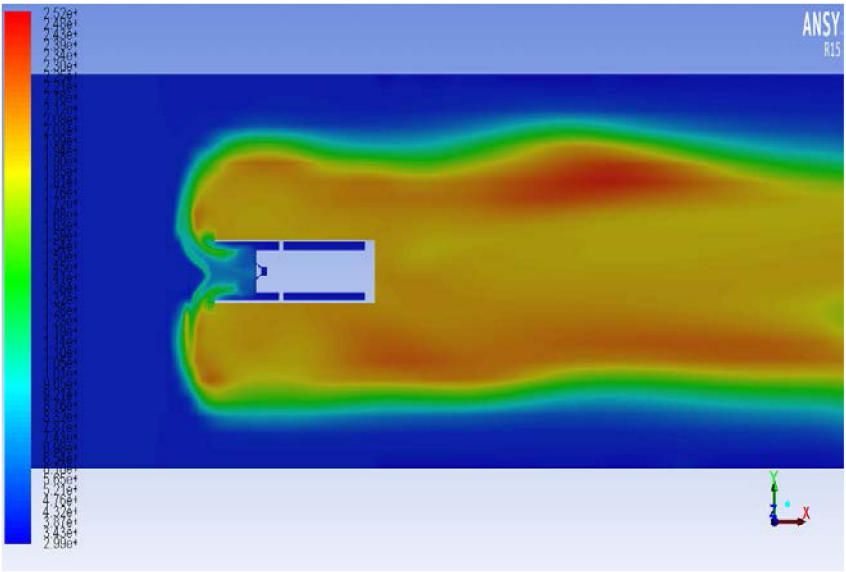


Рис. 4. Поля температур в сечения, α_{Σ}=4

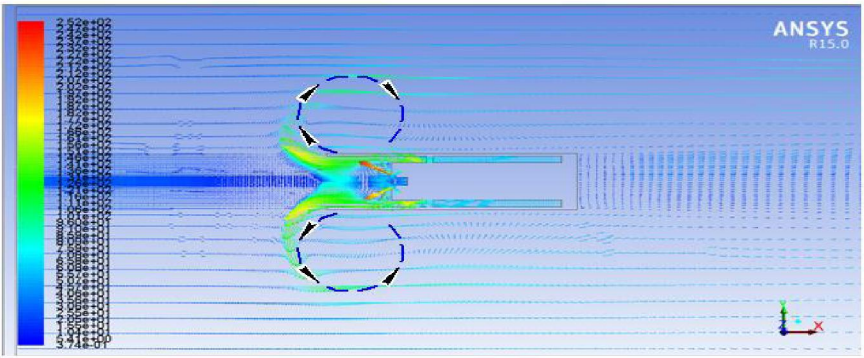


Рис. 5. Векторная картина течения в сечения по оси форсунки

Список литературы

1. Longwell J.P., Weiss A.A. High temperature reaction rates in hydrocarbon combustion. – Ind. and Eng. Chem., 1955, vol. 47, N 8, p. 1634 – 1643.

2. Дорошенко В.Е. О процессе горения в камерах ГТД – Тр. ЦИАМ, 1959, с. 25 – 28.

3. Янковский В.М., Моделирование зоны горения камер сгорания ГТД. – Изв. вузов. Авиационная техника, 1986, №1, с. 73-76.

COUNTER-FLOW SWIRL VANES OF THE COMBUSTION CHAMBER OF GAS TURBINE ENGINE

Yousef W., Mukhametgaliyev N.
Supervisor: V. Sychenkov, candidate of technical sciences, docent
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this paper authors provides a modeling workflow of the counter-flow swirl vanes of the combustion chamber of secondary circuit of a 2-spool, high-bypass turbofan, using numerical calculation methods in the ansys fluent software.

УДК 536+537; 621.43:629.113/114/115; 621.892:662.75.004

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ БОРЬБЫ С ОСАДКООБРАЗОВАНИЕМ В СИСТЕМАХ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЕЙ И ЭНЕРГОУСТАНОВОК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НАЗЕМНОГО, ВОЗДУШНОГО И АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Юсупов А.А.
Научный руководитель: В.А. Алтунин, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Приводится анализ существующих и перспективных способов борьбы с осадкообразованием в системах смазки двигателей и энергоустановок летательных аппаратов наземного, воздушного и аэрокосмического применения. Даны рекомендации по использованию результатов исследования при расчётах, проектировании и создании новых двигателей и энергоустановок повышенных характеристик.

При работе поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС), газотурбинных двигателей (ГТД) и энергоустановок (ЭУ) летательных аппаратов (ЛА) наземного, воздушного и аэрокосмического назначения и применения происходит нагрев не только самих двигателей и ЭУ, но и их систем смазки. Моторные масла при этом находятся в сложных термодинамических условиях, возникает множество проблем, связанных с потерей технических, физических и теплофизических и др. свойств моторных масел. Одной из главных проблем является проблема осадкообразования. Этот негативный процесс происходит в масляных каналах, форсунках и фильтрах, как в земных, так и в космических условиях. Из-за осадкообразования понижается плановый и расчётный ресурс двигателей и ЭУ. Происходит неожиданный и внезапный выход из строя всей масляной системы и всего двигателя или ЭУ в целом, а значит и всего ЛА или наземной техносистемы (различного транспорта, энергетики и т.д.). Поэтому вопросы борьбы с осадкообразованием

в системах смазки двигателей и ЭУ являются актуальными и необходимыми [1-16].

Существующие способы борьбы с осадкообразованием являются неэффективными и затратными [3, 9-12]. Необходимо разрабатывать новые способы и методы уменьшения, удаления и предотвращения углеродистого осадка в системах смазки двигателей и ЭУ ЛА. Из анализа научно-технической литературы следует, что осадкообразование носит электрический характер [12], поэтому было выдвинуто предположение о возможности управления заряженными частицами и диполями (участниками этого процесса) внешними магнитными и электростатическими полями. Была создана экспериментальная база и рабочие участки, проведены экспериментальные исследования при естественной конвекции авиационных моторных масел.

В докладе представлены результаты влияния магнитных и электростатических полей на теплоотдачу и осадкообразование в авиационных моторных маслах. На основе этих результатов даны рекомендации по использованию электростатических полей при разработке новых систем смазки двигателей ЛА повышенных характеристик различного применения. В докладе обобщены и классифицированы существующие, а также разработаны перспективные способы борьбы с осадкообразованием в моторных маслах, которые можно разделить на способы и методы по предотвращению осадка, по его удалению и ограничению.

При разработке новых масляных систем двигателей ЛА возможно создавать: новые масляные теплообменники и устройства подвода масла к осевым подшипникам; масляные форсунки повышенных характеристик; системы фильтрации и очистки моторного масла, совмещённые с системами восстановления и увеличения срока работоспособности моторного масла; датчики и устройства контроля за работой системы смазки двигателя ЛА с выводом оперативных данных на информационное табло лётчика, космонавта, наземного оператора, а также – в бортовой компьютер или в компьютер наземной техносистемы.

На рис. 1 представлены возможности новых масляных форсунок для ГТД ЛА.

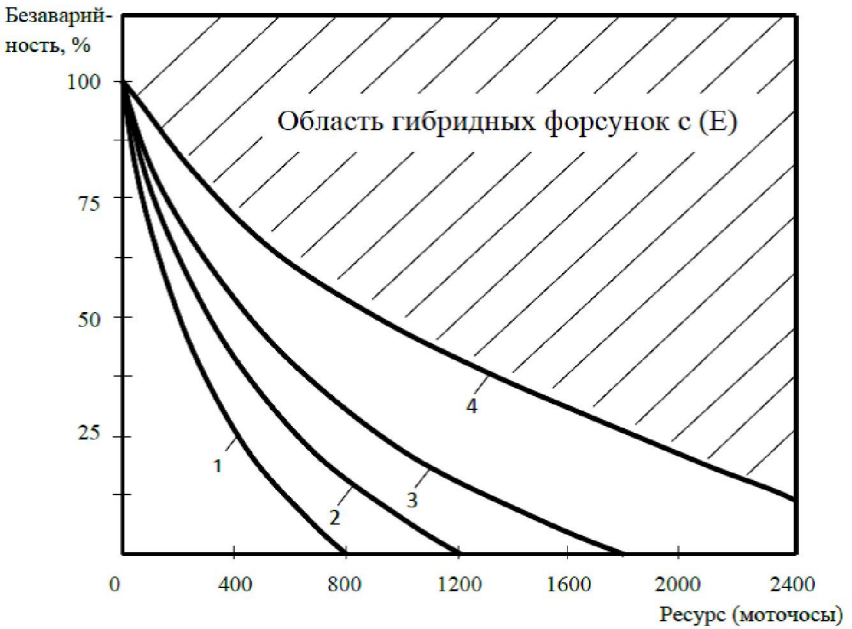


Рис. 1. Влияние способов борьбы с осадкообразованием на ресурс и безаварийность масляных форсунок ГТД ЛА: 1 – штатная масляная форсунка; 2 - масляная форсунка с применением способов борьбы с осадкообразованием без (Е); 3 - масляная форсунка с применением способов борьбы с осадкообразованием при использовании (Е); 4 - масляная форсунка с применением гибридных способов борьбы с осадкообразованием

Материалы доклада будут полезными для разработчиков и конструкторов перспективных отечественных авиационных поршневых ДВС, ГТД, ЭУ и техносистем наземного, воздушного и аэрокосмического назначения и применения повышенных характеристик по ресурсу, надёжности, безопасности, экономичности и экологичности. Кроме того, данные материалы можно широко использовать для проектирования и создания других поршневых ДВС, ГТД, ЭУ и техносистем в других отраслях промышленности, народного хозяйства и науки.

Список литературы

1. Алексеев В.П., Воронин В.Ф., Грехов Л.В. и др. Двигатели внутреннего сгорания: устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. М.: Изд-во «Машиностроение», 1990. 228 с.

2. Агафонов А.Н., Сайданов В.О., Гузда В.Н. Комбинированные энергоустановки объектов малой энергетики. С.-Пб: Изд-во Политехнического ун-та, 2005. 262 с.

3. Кузьмин Н.А., Зеленцов В.В., Крупа В.В. Тепловое состояние, изнашивание и отложения в ДВС // Известия ТулГУ. Тула. 2001. Вып. 5. С. 58-61.

4. Зрелов В.А. Отечественные газотурбинные двигатели. Основные параметры и конструктивные схемы. М.: Изд-во «Машиностроение», 2005. 336 с.

5. Гриценко Е.А., Данильченко В.П., Лукачёв С.В., Резник В.Е., Цыбизов Ю.Н. Конвертирование авиационных ГТД в газотурбинные установки наземного применения. Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2004. 266 с.

6. Боев А.А., Петрухин А.Г., Шкловец А.О. О перспективном подводе масла к подшипниковому узлу ГТД // Изв. Самарского научного центра российской академии наук. Механика и машиностроение. Т.15, №6 (4), 2013. С. 1022-1026.

7. Елисеев Ю.С., Манушин Э.А., Михальцев В.Е. и др. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 640 с.

8. Изотов С.П., Шашкин В.В., Капралов В.М. Авиационные ГТД в наземных установках. Л.: Изд-во «Машиностроение», 1984. 228 с.

9. Шигабиев Т.Н., Яновский Л.С., Галимов Ф.М., Иванов В.Ф. Тепло – и массообмен при фазовых превращениях топлив и масел. Казань: Изд-во Казанского НЦ РАН, 1995. 58 с.

10. Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М., Шигабиев Т.Н., Гортышов Ю.Ф., Горячев В.В., Кондратьев В.А., Аляев В.А. Инженерные основы авиационной химмотологии. Казань: Изд-во Казан.ун-та, 2005. 714 с.

11. Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М, Шигабиев Т.Н., Скибин В.А., Харин А.А., Горячев В.В., Кондратьев В.А.,

Габайдуллин М.Р. Горюче-смазочные материалы для авиационных двигателей. Казань: Изд-во «Мастер Лайн», 2002. 400 с.

12. Большаков Г.Ф. Физико-химические основы применения топлив и масел: Теоретические основы химмотологии. Новосибирск: Изд-во «Наука», 1987. 209 с.

13. Косточкин В.В. Надёжность авиационных двигателей и силовых установок. М.: Изд-во «Машиностроение», 1988. 272с.

14. Григорьев М.А., Бунаков Б.М., Долецкий В.А. Качество моторного масла и надёжность двигателей. М.: Изд-во стандартов, 1981. 232 с.

15. Ильинский В.М. Системы контроля авиационных силовых установок. М.: Изд-во «Транспорт», 1980. 85 с.

16. Нигматуллин Р.Г., Нигматуллин В.Р., Нигматуллин И.Р. Диагностика двигателя внутреннего сгорания по анализу моторного масла. Уфа: Изд-во ГУП РБ «Уфимский полиграфкомбинат», 2011. 297 с.

ANALYSIS OF EXISTING AND PROSPECTIVE WAYS OF FIGHTING WITH SEDIMENTATION IN LUBRICATION SYSTEMS AND POWER INSTALLATION OF AIRCRAFT OF THE GROUND, AIR AND AEROSPACE APPLICATION

Yusupov A.
Supervisor: V. Altunin, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

An analysis given of existing and prospective ways of fighting with sedimentation in lubrication systems and power installation of aircraft of the ground, air and aerospace application. Recommendations given on the use of research results in the calculation, design and construction of new engines and power installations of enhanced performance.

ПОДСЕКЦИЯ 3.2

РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ В РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

УДК 629.7.03:621.822:678

КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ РОТОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ЖРД

Багаутдинов А.Р., Филиппов А.А.
Научные руководители: В.В. Такмовцев, к.т.н., доцент,
А.М. Ерзиков, магистр, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассмотрены конструктивные мероприятия, направленные на повышение надежности работы опорных узлов ТНА ЖРД при использовании подшипников качения и гидростатических подшипников скольжения.

Совершенствование современных ЖРД ставит перед конструкторами ряд задач, направленных на увеличение полезной массы, выводимой в околоземное пространство, при ограниченных габаритах космического корабля. Выполнение этих требований приводит к усложнению условий работы опорных узлов турбонасосных агрегатов (ТНА), смазываемых компонентами топлива [1].

Подшипники опор высокооборотных роторов ТНА ЖРД являются важнейшими элементами конструкции, которые во многом определяют работоспособность, надежность и ресурс, как агрегата, так и всего двигателя в целом. В современных конструкциях ТНА ЖРД нашли применение как подшипники качения (ПК), так и подшипники скольжения, как правило с гидростатическим способом создания несущей способности. Каждый из этих типов подшипников имеют свои преимущества и недостатки [2]. Эффективное использование преимуществ и устранение недостатков опорных узлов за счет совершенствования их конструктивного облика является актуальной задачей, решение которой позволит повысить надежность работы ТНА ЖРД.

Высокооборотные ПК работают на маловязких средах при скоростях вращения, которые превышают в значительной мере предельно допустимые по каталогу ($d_m \cdot n \approx 3{,}5 \cdot 10^6$ мм·об/мин.). Ча-

сто ПК работают в условиях сложного комбинированного нагружения под действием статических, динамических и вибрационных нагрузок. Существующие методы расчета ПК на заданную долговечность при данных условиях их работы не позволяют в полной мере получить надежные результаты, необходимые для анализа их работы. Достаточно часто необходимы существенные материальные и временные затраты, позволяющие создать работоспособную конструкцию опорного узла.

При использовании в качестве опор ротора гидростатических подшипников (ГСП) скольжения их несущая способность и динамические характеристики зависят от давления подачи смазки, величина которого определяется режимом работы насоса ТНА на различных оборотах.

Очевидно, что на некоторых режимах работы, например, на режимах запуска и останова давление подачи смазки будет недостаточным для создания требуемой несущей способности, что повлечет за собой контактирование рабочих поверхностей вала и ГСП, и, как следствие, приведет к повышенному износу подшипников.

Возможным вариантом повышения надежности работы ГСП на этих режимах является их использование их в составе совмещенной опоры (СОП), которая может включать в себя ПК, компенсирующий снижение несущей способности ГСП на режимах запуска и останова. В сою очередь, внутреннее кольцо шарикового ПК, контактирующее с ГСП будет вращаться с меньшей скоростью, что позволит повысить долговечность ПК на рабочих режимах ТНА ЖРД.

В КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева разработано несколько конструкций СОП роторов быстроходных турбомашин. Общим для всех этих конструкций является объединение в одном опорном узле шарикового радиально-упорного ПК и конического ГСП.

Основная идея конструкции СОП, представленной на рис. 1, – улучшение ее вибрационных характеристик в моменты пуска-останова. В этом случае давление подачи смазки недостаточно для создания несущей способности в камерах и на перемычках конического ГСП и основные нагрузки воспринимает шариковый ПК.

СОП содержит следующие основные элементы. Конический ГСП *1*, шариковый радиально-упорный ПК *2*, жестко связанный с ним промежуточный элемент *3*, имеющий кольцевой паз *4*, в котором размещена втулка *5* со штифтом *6* и пружина *7*. Конический ГСП *1* связан с валом 8, внутри которого выполнен осевой цилиндрический канал *18*, посредством шпонки *9* и удерживается от смещения в осевом направлении гайкой *10*. Радиально-упорный шариковый ПК *2* в корпусе опоры *11* удерживается гайками *12*.

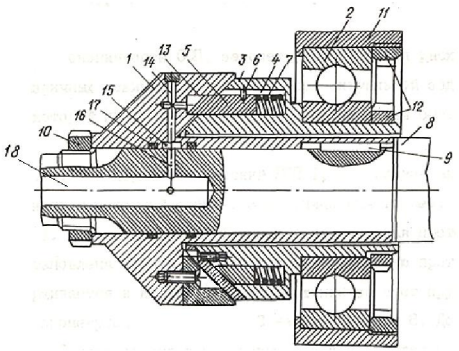


Рис. 1. Конструктивная схема СОП, состоящая из шарикового радиально-упорного ПК и конического ГСП

СОП работает следующим образом. При малых оборотах вала *8* и недостаточном давлении подачи смазки рабочая жидкость через цилиндрический осевой канал *18*, радиальные каналы *16*, кольцевую проточку *15* и каналы *14* не поступает в камеры *13* конического ГСП *1*. В этом случае втулка *5* под действием пружины *7* своими выступами входит в камеры *13* конического ГСП *1*, который вместе с промежуточным элементом *3* вращается с одинаковой скоростью за счет соединения их втулкой *5* как жесткий вал, исключая тем самым радиальное смещение конического ГСП *1* и предотвращая вибрацию опоры.

При увеличении оборотов вала *8* и росте давления подачи смазки, под действием насосного эффекта вала, рабочая жидкость через цилиндрический осевой канал *18*, радиальные каналы *16*, кольцевую проточку *15* и каналы *14* попадает в камеры *13* кониче-

ского ГСП *1*, создавая слой смазки в камерах *13* и на рабочей поверхности конического ГСП 1, обладающий несущей способностью.

Втулка *5*, преодолевая натяжение пружины *7*, выходит из камер *13*, включая тем самым в работу конический ГСП *1*. При этом происходит проскальзывание промежуточного элемента *3* и жестко связанного с ним внутреннего кольца шарикового ПК *2* относительно конического ГСП *1* за счет смазочной пленки между ними. Внутреннее кольцо шарикового ПК *2* вращается со скоростью, составляющей часть скорости вращения вала *8*, что позволяет увеличить его долговечность.

Улучшение вибрационных характеристик ТНА постоянно находится в зоне внимания при проектировании и эксплуатации ЖРД. Наиболее опасными являются режимы работы, возникающие при переходе через критические обороты. На этих режимах происходит разбалансировка ротора, которая сопровождается повышенными радиальными нагрузками и увеличенным прогибом ротора, в результате чего происходит нарушение бесконтактной работы триботехнической системы ТНА. Возможным вариантом решения данной проблемы является совершенствование конструктивного облика ГСП и более подробное изучение физических процессов течения смазки в их элементах.

В КНИТУ–КАИ им. А.Н. Туполева экспериментально установлено, что при центральном подводе смазки в каждую камеру радиального ГСП на периферии камер происходит снижение давления на 20-30% относительно величины давления над местом подвода смазки в камеру. Причем это явление происходит как при неподвижном вале, так и при вращении. Кроме того, в углах камер, через которые на рабочую поверхность выходит суммарный поток, образованный расходным потоком под действием давления подачи, и окружным потоком, возникающим в результате вращения, образуются зоны разрыва смазочной пленки. Было замечено, что при увеличении скорости вращения происходит рост этих зон в направлении торцов ГСП до их смыкания. В этот момент происходит выравнивание давления в камере с давлением по торцам подшипника

и схлопывание зон разрыва смазки, что сопровождается кавитационными явлениями, усиливающими вибрацию ротора.

Для устранения этих явлений предлагается конструкция радиального ГСП (рис. 2), в которой обеспечивается выравнивание поля давления по всему объему камер независимо от их размеров.

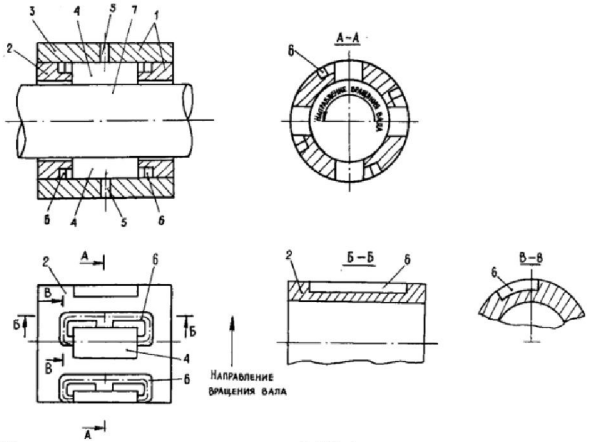


Рис. 2. Конструкция радиального ГСП с выравниванием давления по объему камер

Высокоскоростной радиальный ГСП представляет собой втулку *1*, выполненную составной из двух цилиндрических корпусов *2* и *3*, которые закреплены друг в друге по прессовой посадке. В цилиндрическом корпусе *2* изготовлены камеры *4* в виде сквозных отверстии прямоугольной формы. Напротив центра каждой камеры *4* в цилиндрическом корпусе *3* выполнены отверстия *5* для подвода рабочей жидкости. В корпусе втулки *1*, на наружной поверхности цилиндрического корпуса *2*, изготовлены фрезерованные каналы *6*, соединяющие центральную часть камер *4* с их торцами. Каналы *6* выполняются у каждой камеры *4* с одной стороны в направлении вращения вала *7*.

Во время работы ГСП в центральной части камер *4*, на их боковых стенках, в которые ударяется окружной поток, образуется зона повышенного давления. Под действием этого давления часть

жидкости по каналам *6* перетекает к торцам камер и выравнивает давление по всему объему камер. Это препятствует нарушению сплошности потока смазки в камерах при высоких скоростях вращения, повышает несущую способность, устойчивость и надежность работы ГСП.

В заключении следует отметить, что внедрение в практику предложенных конструктивных мероприятий в определенной мере усложняет конструкцию агрегата, но данный недостаток перекрывается возможностью повышения надежности работы роторных подшипников и всего ТНА ЖРД в целом.

Список литературы

1. Овсянников Б.В. Теория и расчет агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей/ Б.В. Овсянников, Б.И. Боровский, 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1986. – 376с.

2. Ерзиков А.М., Такмовцев В.В., Ильюшкин Н.А., Повышение надежности силовых установок для наземного применения. Евразийское Научное Объединение, 2016. Т. 1. № 3 (15). С. 48-50.

STRUCTURAL MEASURES TO IMPROVE THE PERFORMANCE RELIABILITY OF ROTARY JOURNAL BEARINGS OF LIQUID-PROPELLANT ROCKET ENGINES TURBO-PUMP UNITS

Bagautdinov A., Filippov A.
Research supervisor: A. Erzikov, MSc. Mech. Eng., assoc. prof.
V. Takmovtsev, Cand. Tech. Sc.; assoc. prof.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The structural measures aimed at increasing the performance reliability of the supporting nodes of the liquid-propellant rocket engines turbo-pump units using the rolling bearings and hydrostatic journal bearings are considered.

УДК 621.5 (075.8)

ПЛАНИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ ШНЕКОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА И ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХЗАВИСИМОСТЕЙ ЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Беляева Н.В.
Научный руководитель: А.И. Коломенцев, к.т.н., профессор
(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Цель исследования—разработка методики планирования испытаний на основе регрессионного анализа. Оптимальное планирование позволяет сократить стоимость и сроки проведения испытаний агрегатов жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), в том числе турбонасосных агрегатов (ТНА) [1].

На основе экспериментальных данных и теоретического анализа предполагаем следующий вид регрессионных зависимостей КПД ($\eta_н$), напора (Н), мощности ($N_н$) от входных факторов: объемного расхода рабочего тела ($\dot{V}$) и частоты вращения вала (ω) [2]:

$$E(Y) = b_0 + b_1\dot{V} + b_2\omega + b_{11}\dot{V}^2 + b_{22}\omega^2 + b_{12}\dot{V}\omega,$$

где E(Y) — математическое ожидание выходного параметра: $Y \equiv \eta_н, N_н$.

Для построения выбранной регрессионной модели строим план полного факторного эксперимента (ПФЭ).

Для исключения влияния систематических погрешностей опытов, вызываемых внешними условиями, строим рандомизированную матрицу планирования. Принимая количество повторных опытов равными минимально возможному (m=2), и, исходя из плана «ПФЭ», можно построить матрицу планирования опытов, приведенную в табл.1.

Здесь: N—номер строки матрицы планирования, n—номер опыта.

Таблица 1

N	n	$\dot{V}$		ω	
		Код	л/с	Код	рад/с
1	1				
	11	-	0	+	314
2	5				
	12	+	7	+	314
3	9				
	17	+	7	-	209,3
4	2				
	18	-	0	-	209,3
5	8				
	16	0	3,5	+	314
6	6				
	15	+	7	0	261,65
7	4				
	13	0	3,5	-	209,3
8	3				
	10	-	0	0	261,65
9	7				
	14	0	3,5	0	261,65

Описание экспериментальной установки и систем измерений

Проводим опыты в соответствии с построенной матрицей планирования. Давление на входе поддерживается таким, чтобы обеспечить бескавитационную работу насоса.Схема установки замкнутого типа для снятия энергетических характеристик насоса-представлена на рис.1.

Вода из бака 1 поступает по всасывающему трубопроводу к насосу 2. Пройдя через насос, жидкость возвращается по нагнетающему трубопроводу обратно в бак. На нагнетающем трубопроводе установлен дроссельный кран 3, с помощью которого производится изменение режима работы насоса по расходу. Для подавления кавитации в насосе производится дополнительный подпор бака при помощи сжатого воздуха. Регулирование давления в баке, а, следовательно, давления на входе в насос производится с помощью кранов наддува и сброса.Привод насоса осуществляется от электродвигателя постоянного тока 4 с регулируемым числом оборотов. Число оборотов электродвигателя изменяется с помощью реостата.

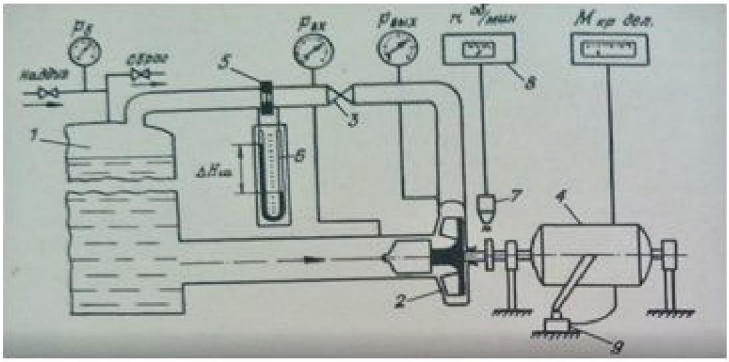


Рис. 1. Схема установки для испытаний насоса:
1 – бак для жидкости; 2 – шнекоцентробежный насос; 3 – дроссельный кран; 4 – электродвигатель; 5 – мерная шайба; 6 –дифманометр; 7 – фотодатчик оборотов; 8 – частотомер; 9 – датчик силы для определения крутящего момента.

Для измерения давления в баке, на входе и выходе из насоса используются манометры высокого класса точности. Иногда для уменьшения погрешности при определении небольших напоров используется дифференциальный манометр, с помощью которого замеряется непосредственно разность давлений $\Delta p = p_{вых} - p_{вх}$.

Расход жидкости через насос измеряется расходомером дроссельного типа (мерной шайбой) 5. Частота вращения вала насоса замеряется с помощью фотодатчика 7, сигнал от которого поступает на частотомер 8.

Для определения мощности, потребляемой насосом, необходимо знать величину крутящего момента $M_{кр}$ на валу насоса. В данной работе величина крутящего момента определяется по величине реактивного момента, действующего на корпус электродвигателя.

Результаты испытаний

После проведения опытов строим табл.2, в которой приведены опытные значения КПД и мощности насоса и расчетные значе-

ния дисперсий повторных опытов. Для случая $m=2$ величина дисперсии определяется в соответствии с выражением:

$$D(Y_i) = \sum_{j=1}^{m=2}(Y_{i,\text{ср}} - Y_{i,j})^2.$$

Таблица 2

N	n	$\dot{V}$		ω		$\eta_{\text{н}i,j}$	$\eta_{\text{н}i,\text{ср}}$	$D(\eta_{\text{н}})$	$\text{N}_{\text{н}i,j}$	$\text{N}_{\text{н}i,\text{ср}}$	$D(\text{N}_{\text{н}})$
		Код	л/с	Код	рад/с	-	-	-	Вт	Вт	$(\text{Вт})^2$
1	1	-	0	+	314	0	0	0	0	0	0
	11					0			0		
2	5	+	7	+	314	0,5	0,48	0,0008	1613,1859	1610	20,3
	12					0,46			1606,8141		
3	9	+	7	-	209,3	0,5274	0,505	0,001	524,8373	522	16,1
	17					0,4826			519,1627		
4	2	-	0	-	209,3	0	0	0	0	0	0
	18					0			0		
5	8	0	3,5	+	314	0,4574	0,43	0,0015	1023,8636	1021	16,4
	16					0,4026			1018,1364		
6	6	+	7	0	261,65	0,6316	0,6	0,002	1062,9665	1060	17,6
	15					0,5684			1057,0335		
7	4	0	3,5	-	209,3	0,61	0,59	0,0008	457,6739	455	14,3
	13					0,57			452,3261		
8	3	-	0	0	261,65	0	0	0	0	0	0
	10					0			0		
9	7	0	3,5	0	261,65	0,5824	0,56	0,001	702,7568	700	12,6
	14					0,5376			697,2432		

Статистическая обработка результатовиспытаний

Проверка опытов на воспроизводимость и стационарность:

Обработку результатов эксперимента следует начинать с проверки стационарности и воспроизводимости. Подобная проверка особенно необходима при большой длительности испытаний, когда возможно возникновениеизменений условий проведения эксперимента.

Расчетные значения критерия Фишера:

$$F_{\text{эксп}} = \frac{D(\eta_{\text{н}})_{max}}{D(\eta_{\text{н}})_{min}} = \frac{0{,}002}{0{,}0008} = 2{,}5; \qquad F_{эксп} = \frac{D(\text{N}_{\text{н}})_{max}}{D(\text{N}_{\text{н}})_{min}} = \frac{20{,}3}{12{,}6} = 1{,}6111.$$

Табличное значение F-критерия при уровне значимости α=0,05 и степенях свободы $f_{min} = f_{max} = 1$ равно $\text{F}_{\text{табл}} = 161$[3].

Так как $F_{\text{эксп}} < F_{\text{табл}}$, следовательно требование воспроизводимости выполнено.

Оценка стационарности также проводится с помощью F-критерия.

Однако в нашем случае в этом нет необходимости, поскольку все дисперсии $D(\eta_н)$и $D(N_н)$характеризующие степень рассеивания результатов повторных опытов, имеют одинаковый порядок и, следовательно, требование по стационарности выполнено.

Расчет коэффициентов регрессии и проверка их на значимость:

Параметры регрессионной модели рассчитываются по методу наименьших квадратов:

$$B_{\eta_н} = (X^T X)^{-1}(X^T \eta) = \begin{pmatrix} 0{,}5617 \\ 0{,}2642 \\ -0{,}0308 \\ -0{,}2625 \\ -0{,}0525 \\ -0{,}0062 \end{pmatrix}; \quad B_{N_н} = (X^T X)^{-1}(X^T N) = \begin{pmatrix} 715{,}55 \\ 532 \\ 275{,}66 \\ -193{,}33 \\ 14{,}66 \\ 272 \end{pmatrix} [Вт].$$

Проверка коэффициентов регрессии на значимость производится по критерию Стьюдента t. Доверительный интервал Δbоценки коэффициентов регрессии равен:

$$\Delta b_{\eta_н} = t_{табл} S(b_i) = 0{,}0212, \qquad \Delta b_{N_н} = t_{табл} S(b_i) = 14{,}11[Вт],$$

где$t_{табл}(\alpha = 0{,}05; f_{воспр} = 9) = 2{,}262$ – табличное значение критерия Стьюдента;

$$D(\eta_н)_{воспр} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} D(\eta_{н_i}) = 0{,}008; \quad D(N_н)_{воспр} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} D(N_{н_i}) = 11{,}1\,[Вт]^2;$$

$$S(b_i)_{\eta_н} = \sqrt{\frac{D(\eta_н)_{воспр}}{N}} = 0{,}0094; \; S(b_i)_{N_н} = \sqrt{\frac{D(N_н)_{воспр}}{N}} == 1{,}1106[Вт].$$

Так как все полученные коэффициенты регрессии по модулю больше Δb, то они значимы. Окончательно уравнения регрессии имеют вид:

$$\eta_н = 0{,}5617 + 0{,}2642\dot{V} - 0{,}0308\omega - 0{,}2625\dot{V}^2 - 0{,}0525\omega^2 - 0{,}0062\dot{V}\omega;$$

$$N_н = 715{,}55 + 532\dot{V} + 275{,}66\omega - 193{,}33\dot{V}^2 + 14{,}66\omega^2 + 272\dot{V}\omega.$$

Проверка регрессионной модели на адекватность:

Проверка осуществляется с использованием критерия Фишера.Расчетное значение F-критерия:

$$F_{эксп} = \frac{D(\eta_н)_{ад}}{D(\eta_н)_{воспр}} = 0{,}0382\,,$$

где

$$D(\eta_н)_{ад} = \frac{1}{f_{ад}} \sum_{i=1}^{3} \left(\eta_{нi,эксп} - \eta_{нi,теор}\right)^2 = 3{,}017 * 10^{-5};$$

$f_{ад} = N - N_в = 3;$

$N_в$ – количество значимых коэффициентов регрессии;

N – количество проведенных экспериментов.

Табличное значение F-критерия при уровне значимости $\alpha = 0{,}05$ и степенях свободы $f_{ад} = 3;\ f_{воспр} = 9$ равно $F_{табл} = 3{,}86$.

Так как $F_{эксп} < F_{табл}$, следовательно построенная регрессионная модель адекватна, т.е. соответствует экспериментальным данным.Аналогичная проверка показала адекватность модели для мощности насоса.

Графики энергетических характеристик насоса

На рис.2 представленызависимости КПД и мощностишнекоцентробежного насоса от объемного расхода. Графики соответствуют номинальным оборотам: $\omega = 261{,}65\left(^{рад}/_{с}\right)$.

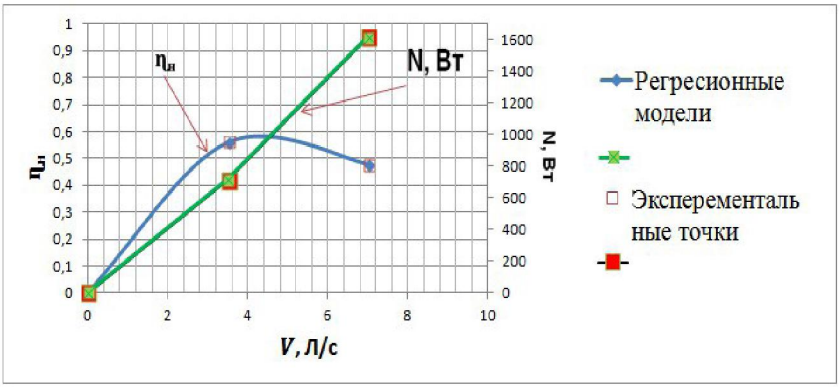


Рис. 2. Зависимость КПД и мощности насоса от объемного расхода

Вывод

Представленная методика планирования испытаний и обработки их результатов позволяет прогнозировать параметры агрега-

тов ЖРД (в частности ТНА) на раннем этапе разработки двигателя, а так же сократить объем его отработки.

Список литературы

1. Коломенцев А.И., Осипов Г.Б. Обеспечение надежности двигательных установок: Тексты лекций.— М.: Изд-во МАИ, 1992.—52с.

2. Овсянников Б.В., Яловой Н.С. Моделирование и оптимизация характеристик высокооборотных насосных агрегатов.— М.: Машиностроение, 1992. — 256 с.

3. Трофимов Р.С. Вероятностные методы планирования и отработки ДЛА.— М.: Машиностроение, 1991.—152с.

PLANNING OF THE CENTRIFUGAL PUMP TESTS AND BUILDING THE REGISTERED DEPENDENCIES OF ITS ENERGY CHARACTERISTICS

Belyaeva N.
Supervisor: A. Kolomentsev, Ph.D., professor
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

The purpose of the study is to develop a methodology for planning tests based on regression analysis. Optimal planning reduces the cost and timing of testing of liquid rocket engine aggregates, including turbo-pump units.

УДК 62-9

СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ЖРД НА КОМПОНЕНТАХ ТОПЛИВА КИСЛОРОД-ВОДОРОД И КИСЛОРОД-МЕТАН

Беляков В.А., Василевский Д.О.
Научный руководитель: А.Г. Воробьев, к.т.н., доцент
(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Актуальность работы обусловлена перспективой применения кислородно-водородных ЖРД безгазогенераторной схемы для решения задач, сформулированных в Федеральной космической программе РФ. Работа может быть полезна инженерам и студентам, специализирующимся в области ракетного двигателестроения.

Безгенераторные схемы используются в качестве маршевых двигателей РБ и 3-х ступеней ракет. Среди разработчиков следует выделить КБХА (РН Ангара ЖРД 0146), Pratt & Whitney (РН AtlasCentaur-SaturnRL 10), SEP (РН Ариан 5 (Vulcain, Vulcain2, Vinci)). Существуют три типа безгенераторных схем: открытая (сброс парогаза в закритическую часть сопла), закрытая (сброс парогаза в КС) и смешенная,из этого вытекает ряд схем с разными особенностями подачи компонентов. Безгенераторные схемы особенно эффективны при применении криогенных компонентов топлива (кислород, водород, метан и др.).В работе рассматриваются достоинства и недостатки безгенераторных схемс дожиганием нагретого горючего или окислителя после рубашки охлаждения.

Разработана программа по увязке энергетических параметровбезгазогенераторого ЖРДс учетомподогрева охладителя в ру-

башке камеры сгорания (Рис. 1,

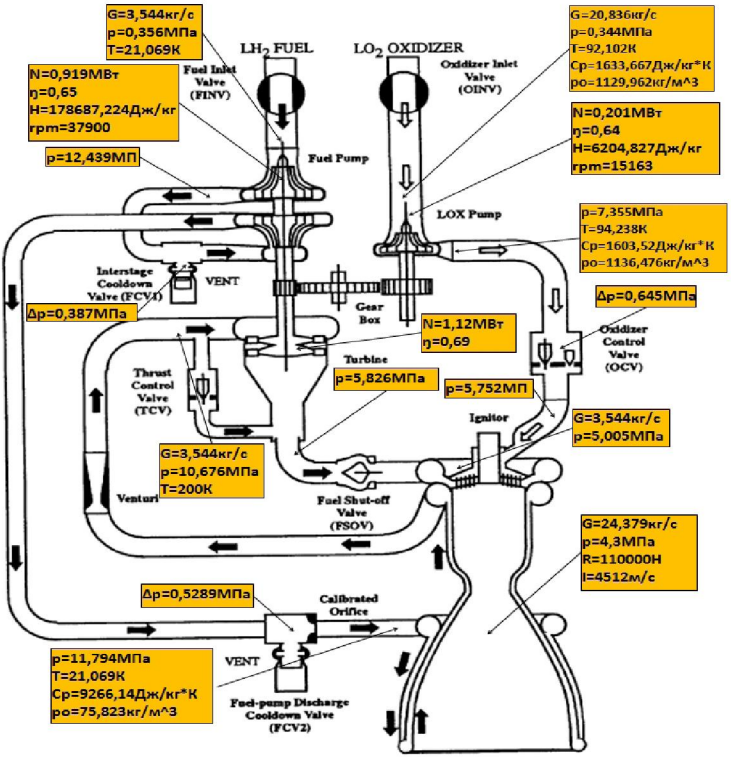


Рис. 2)и использованием зависимостей изменения теплофизических свойств компонентов от давления и температуры.

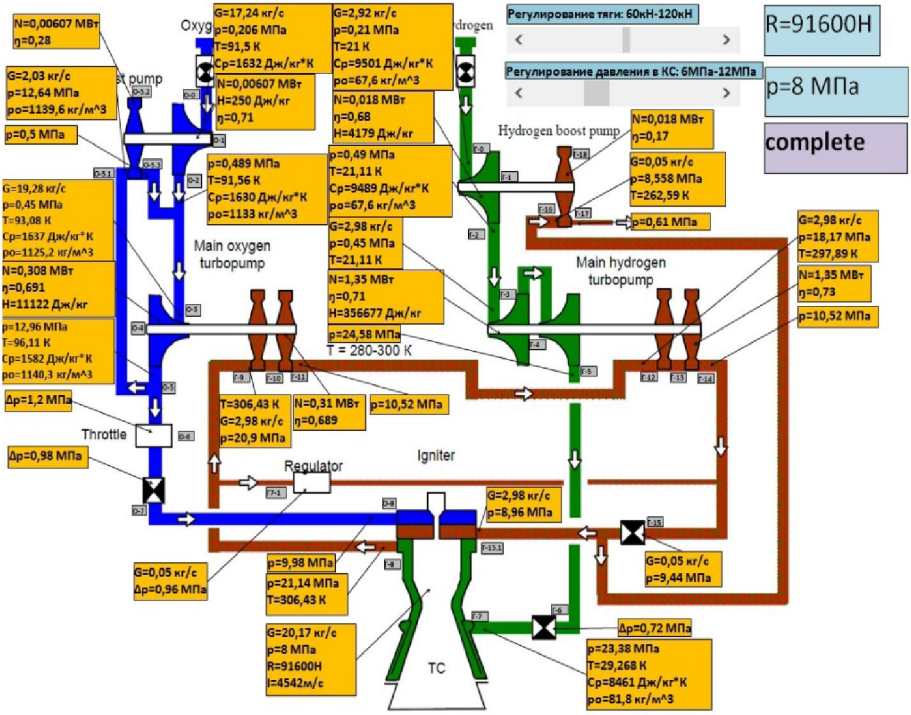


Рис. 1. Результаты моделирования безгазогераторного двигателя (на базе прототипа РД-0146)

Модернизация водородных безгазогенераторных двигателей при переходе на метан требует замены некоторыхэлементов конструкции, но при этом значительно снижаются потери энергетики ракетоносителя из-за увеличения плотности топлива.

Что касается охлаждающей способности метана, то по оценке зависимости комплекса теплофизических свойств охладителя о температуры и давления водород в 2 раза лучше, чем метан. Концентрационные пределы воспламенения и взрыва смесей с воздухом у метана существенно ниже, чем у водорода, минимальная энергия воспламенения на порядок ниже, т.е. опасность самопроизвольного взрыва заметно ниже.

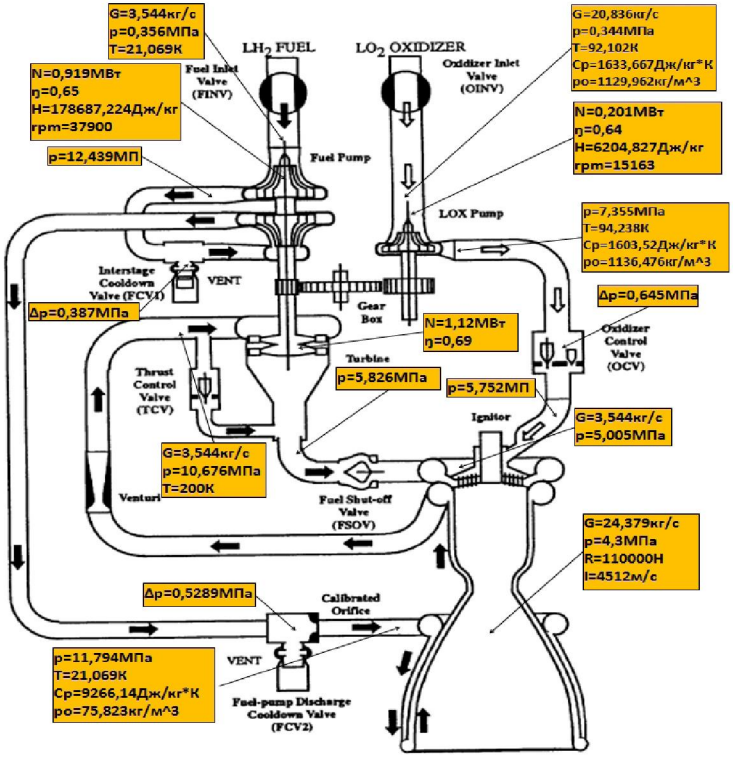


Рис. 2. Результаты моделирование безгазогераторного двигателя (на базе прототипа RL10A-3-3A)

По итогам расчетов нескольких вариантов безгенераторных схем была выявлена перспективная схема с комбинированным охлаждением, где горючее и окислитель используется в отдельных контурах рубашки охлаждения. Нагреваясь и газифицируясь, компоненты ракетного топлива служат для привода отдельных турбин ТНАО и ТНАГ.Показано, что предложенная схема может быть эффективна для безгенераторых двигателей разгонных блоков небольших тяг (до 4 т.с.), когда возникает нехватка горючего для охлаждения КС.

Расчеты показывают, что применение комбинированной схемы охлаждения позволяет с одной стороны обеспечить надежность

охлаждения стенок КС, с другой стороны, обеспечить мощностной баланс ЖРД с возможностью необходимого регулирования двигателя.

Список литературы

1. Глушко В.П. Космонавтика (энциклопедия). – Москва.: Советская энциклопедия, 1985.

2. УманскийС.П. Ракетоносители. Космодромы. – Москва: 2001.

3. Добровольский М.В.Жидкостные ракетные двигатели.Подредакцией Д.А.Ягодникова – Москва: МГТУ им Н.Э.Баумана, 2005.

4. Калмыков Г.П., Лебединский Е.В., Тарарышкин В.И. и др. Безгенераторный ЖРД тягой 200 т.с на углеводородном горючем. 4thICLT «SpaceLauncherLiquidPropulsion», 2002 г.

5. Дмитренко А.И., Иванов А.В., Рачук В.С. Развитие конструкции турбонасосных агрегатов для водородных ЖРД безгенераторной схемы, разработанных в КБХА. ВестникСамарскогогосударственногоаэрокосмическогоуниверситета, №. 4 (24), 2010. с. 38-48.

COMPARISON OF THE PARAMETERS OF A LIQUID ROCKET ENGINE BYEXPANDED CYCLE ON THE COMPONENTS OF OXYGEN-HYDROGEN AND OXYGEN- METHANE

Belyakov V., Wasilewski D.

Supervisor: A. Vorobiev, Associate Professor, Ph.D.

(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

The importance of this work is due to the prospect of using oxygen-hydrogen LRE by expanded cycle for solving the problems formulated in the Federal Space Program of the Russian Federation. The work can be useful for professionals and students specializing in construction of rocket propulsion systems.

УДК 629.7.036.72

ЛАЗЕРНЫЙ РАКЕТНЫЙ ТЕПЛОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ МИКРО- И НАНОСПУТНИКОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

***Бикмучев А.Р.*[1]*, Сочнев А.В.*[2]**
Научный руководитель: А.Г. Саттаров[2], д.т.н.
(1-Федеральное государственное бюджетное учреждение "Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина", Звездный городок, 2-Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данное работе предлагается использовать лазерный ракетный тепловой двигатель для снижения массы двигательной установки космического летательного аппарата. Получена формула зависимости массы от мощности лазерного луча.

В последние годы наблюдается тенденция развития космической техники в направлении снижения массово-габаритных характеристик, что особенно характерно для орбитальных космических летательных аппаратов. Дальнейшее развитие мощных волоконных лазеров ставит перед исследователями задачу их эффективного использования в различных энергетических установках [1-5], например, в лазерных ракетных двигателях (ЛРД), которые предназначены для использования в системах ориентации и стабилизации орбитальных КЛА, в разгонных блоках, в транспортных космических системах с малой начальной массой (рисунок1).

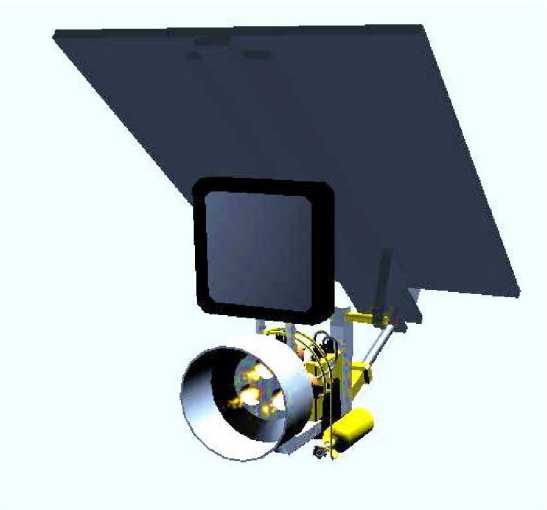


Рис. 1. Космическая платформа с малой массой на основе лазерных ракетных двигателей с бортовым источником энергии

Масса ДУ($m_{ДУ}$) зависит от удельного импульса ($I_{уд}$,м/с) и тяги ракетного двигателя (R, Н), количества камер сгорания n, рода топлива, давления в камере, степени расширения газов в сопле, рода вытесняющего газа и других параметров. Массу ДУ можно определить из следующего соотношения:

$$m_{ДУ} = m_т + m_{с.п.} + \sum_1^i n m_{кi} + m_а \quad (1)$$

где $m_т$ – масса топлива; $m_{с.п.}$- масса системы подачи; $\sum_1^i n m_{кi}$ – суммарная масса камер; $m_а$ - масса агрегатов автоматики. Сухая масса ДУ (без учета массы топлива) т.е. равняется:

$$m_с = m_{с.п.} + \sum_1^i n m_{кi} + m_а \quad (2)$$

Массу необходимого топлива на расчетном режиме работы сопла ЛРД можно определить из соотношения:

$$m_т = \frac{R}{I_{уд}} \tau \quad (3)$$

где τ -время работы двигателей, с.

Удельный импульс ЛРД в зависимости от подводимой мощности лазерного излучения W можно записать в виде:

$$I_{уд} = \frac{2\eta W}{R} \quad (4)$$

Тогда выражение (1) для массы ДУ с ЛРД, с учетом (2) — (4) можно записать в форме:

$$m_{ДУ} = \frac{R}{I_{уд}}\tau + m_c = \frac{R^2}{2\eta W}\tau + m_c = \frac{R^2}{2\eta W}\tau + m_{с.п.} + \sum_1^i nm_{кi} + m_a, \quad (5)$$

где W – мощность вкладываемого в ЛРД лазерного излучения.

Анализ формулы (5) показывает, что при увеличении КПД и удельного импульса ЛРД, масса ДУ для микро- и наноспутниковых космических систем уменьшается.

Список литературы

1. Саттаров А.Г. Исследование составляющих лазерной реактивной тяги при помощи уравнения регрессии второго порядка / Саттаров А.Г., Сочнев А.В. // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 1. С. 32-39.

2. Саттаров А.Г. Измерение продолжительности импульса оптического разряда в воздухе и на модели СНО-состава для оценки мощностных параметров и режима работы импульсного лазера / Саттаров А.Г., Сочнев А.В. // Труды Академэнерго. 2016. № 3. С. 133-140.

3. Саттаров А.Г. Измерение импульса реактивной силы, создаваемый импульсным оптическим разрядом при помощи баллистического маятника / Саттаров А.Г., Сочнев А.В., Бикмучев А.Р. // Труды Академэнерго. 2015. № 1. С. 75-82.

4. Саттаров А Г. Лазерный ракетный двигатель на основе непрерывного оптического разряда // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2008. № 3. С. 46-49.

5. Саттаров А.Г. Концепция космического ЛА с малой начальной массой, выводимого на околоземную орбиту лазерным ракетным двигателем // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2008. №2. С. 41 -45.

LASER THERMAL ROCKET ENGINE FOR MICRO- AND NANOSETENCY SPACE SYSTEMS OF NEW GENERATION

Bikmuchev A.R.[1], Sochnev A.V.[2]
Supervisor: A. Sattarov[2], Doctor of Technical Sciences
(1-State Organization "Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center",
2-Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this paper, it is proposed to use a laser rocket thermal engine to reduce the mass of the propulsion system of a spacecraft. A formula is obtained for the dependence of the mass on the power of the laser beam.

УДК 662.612.3

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ГИБРИДНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Будин А.Г., Позолотин А.П., Зырянов И.А.
Научный руководитель: С.М. Решетников, д.т.н., профессор
(Вятский государственный университет, г. Киров)

В работе представлены экспериментальные данные, указывающие на перспективность использования древесины в качестве топлива для ГРД. Выявлены особенности горения березы и сосны в условиях ГРД.

Повышенный интерес к использованию гибридных ракетных двигателей (ГРД) обусловлен экологичностью, безопасностью их работы и низкой себестоимостью [1]. Согласно литературным данным [2-3] чаще всего в качестве топлива используются синтетические полимеры (ПММА, полиэтилен, каучуки, парафин и тд). Представляет интерес изучить возможность использования древесины в качестве альтернативного топлива полимерам, так как она является возобновляемым ресурсом и значительно дешевле чем другие виды топлив. С другой стороны, процесс горения древесины в условиях высокоэнтальпийного потока представляет интерес для разработчиков тепловых энергетических установок для производства электроэнергии, а также прогнозирования распространения пожаров [6].

Исходя из выше сказанного целью работы является экспериментальное исследование горения древесины на тестовом стенде ГРД.

Экспериментальный стенд представляет из себя модельный ГРД и позволяет измерять линейную скорость горения, тягу и давление. Основные конструктивные особенности и методика проведения экспериментов подробно приведена в работах [4-5]. В качестве объектов исследования выбрана береза с влажностью 6% и сосна с влажностью 5%, реперным топливом служил ПММА. Плотность потока кислорода варьировалась [10-40] кг/м^{2}с.

Особенностью горения древесины является наличие искр в пламени за соплом и увлечение их количества с ростом потока окислителя.

Эксперименты показали невозможность использования образцов имеющих трещины и сучки, так как они приводят к прогару топливного блока.

На рис. 1. представлен график зависимости средней тяги от плотности потока окислителя.

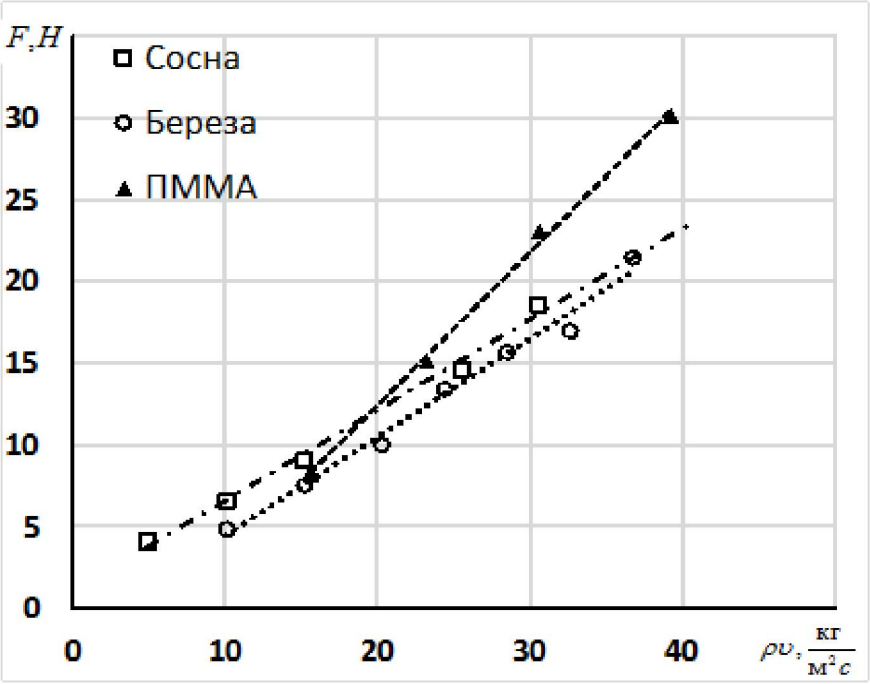


Рис. 2. Тяга двигателя

Как видно из рис. 2 значение средней тяги двигателя сопоставимо с ПММА в диапазоне [10-30] кг/м^{2}с. Законы горения для объектов исследования имеют вид:

$$U = 0{,}1(\rho\upsilon)^{0{,}39} \text{ (Береза)}$$

$$U = 0{,}16(\rho\upsilon)^{0{,}33} \text{ (Сосна)}$$

$$U = 0{,}029(\rho\upsilon)^{0{,}56} \text{ (ПММА)}$$

где U – линейная скорость горения. Показатель степени в законе горения указывает на режим горения топлива, в нашем случае для древесины он является смешанным (диффузионно-кинетическим). Экспериментально установлено, что увеличение влажности топлива на 44% снижает тягу двигателя в 2,4 раза рис.2 Данный факт объясняется влиянием влажности на скорость горения древесины [6].

Исследования процесса саже образования показали уменьшение толщины коксового слоя с ростом плотности потока окислителя [7]. Анализ фотографий коксового остатка показал, отличительные особенности при горении березы и сосны. При горении березы сажа представляет собой чешуйки, а сажа сосны плотные зернистые образования. Данные особенности связаны с многокомпонентностью состава древесины (лигнин, целлюлоза и др). Каждый компонент имеет свою собственную скорость горения [8].

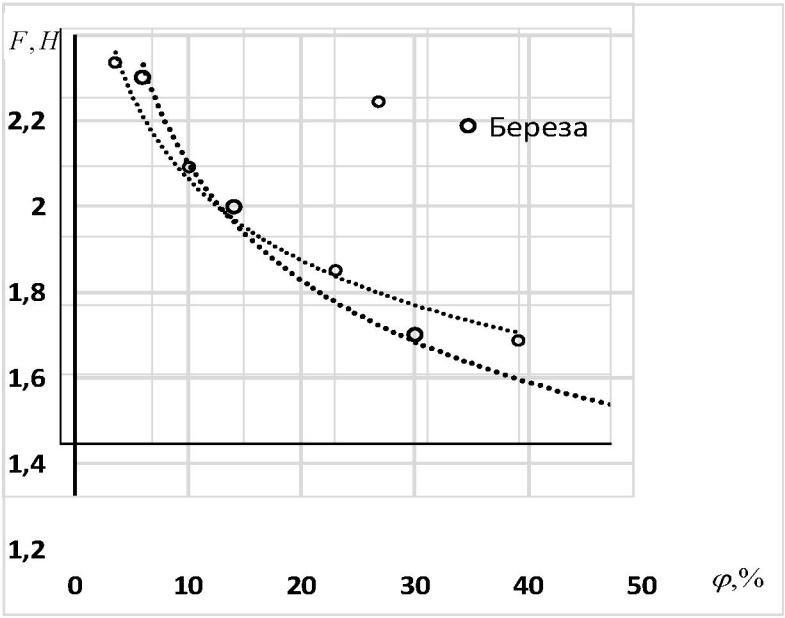


Рис.2 Зависимость средней тяги ГРД от влажности топлива

Расчетным путём определена зависимость скорости горения от плотности теплового потока от пламени к поверхности древесины, для этого использовались данные работы [6] и [9]. На рис.3 представлен график зависимости скорости горения от плотности теплового потока.

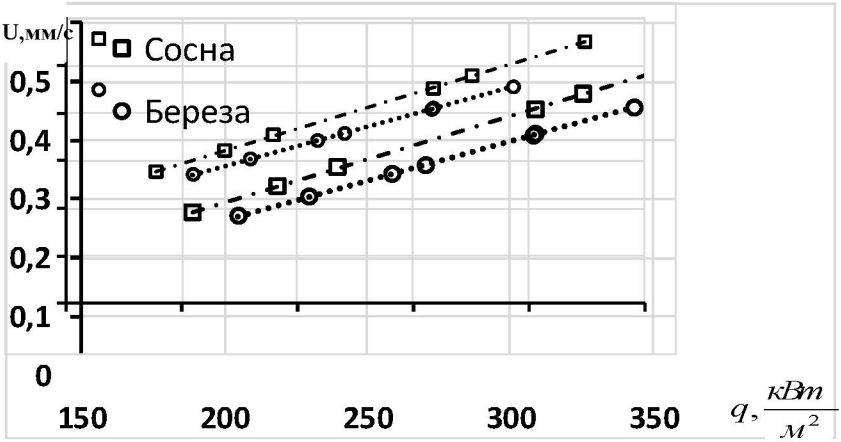


Рис. 3. Зависимость линейной скорости горения
от плотности теплового потока

Величина плотности теплового потока от пламени к поверхности древесины лежит в пределах [180-360] рис.3. Данные значения удовлетворительно согласуются с работой [10].

Таким образом экспериментальные исследования показали возможность использования древесины в качестве топлива для ГРД и выявили необходимые условия для этого:

1. контроль качества поверхности и структуры топлива;
2. контроль минимальной влажности топлива.

Полученные данные могут быть полезны специалистам в области пожарной безопасности.

Список литературы

1. Иванов Н. Н., Иванов А. Н. К использованию гибридных ракетных двигателей на космических аппаратах //Вестник ФГУП НПО им. СА Лавочкина. – 2010. – №. 3. – С. 50-55.

2. Губертов А.М., Миронов В.В., Голлендер Р.Г. и др. Процессы в гибридных ракетных двигателях / под ред. А.С. Коротеева. – М.: Наука, 2008. 405 с.

3. Chiaverini M. J. Fundamentals of hybrid rocket combustion and propulsion. – American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2000.

4. Решетников С.М., Будин А.Г., Позолотин А.П., Зырянов И.А. Разработка тестового стенда для исследования рабочих параметров гибридного ракетного двигателя // Общество, наука, иннвации. (НПК-2015): всерос. ежегод. науч.-практ. конф.: сб. материалов, 13-24 апреля 2015 г. / Вят. гос. ун-т. - Киров, 2015. -1 электрон.опт.диск (CD-ROM). – С.921-925

5. Позолотин А.П. Решетников С.М., Зырянов И.А., Будин А.Г., Шаурко П.Н. Методика экспериментального исследования горения древесины в выскоэнтальпином потоке, // Общество, наука, инновации (НПК-2016): ежегод. открыт. всерос. науч.-технич. конф., 18-29 апр. 2016.: сб. материалов / Вят. гос. ун-т; отв. ред. С.Г. Литвинец. - Киров, 2016. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) С. 1746-1751

6. Ассева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение древесины и её пожароопасные свойства Монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2010 .- 262 с.

7. Reshetnikov S. M. et al. Investigation of wood combustion in the high-enthalpy oxidizer flow //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2017. – Т. 789. – №. 1. – С. 012041.

8. Любов В.К. Повышение эффективности энергетического использования биотоплив: учебное пособие / В.К. Любов, С.В. Любова – Архангельск, 2010 – 496 с.

9. Абдурагимов И.М., Андросов А.С., Батрак М. Воспламенение и горение древесины под влиянием тепловых потоков // ФГВ. - 1986. -Т. 22. №1.-С. 10-15.

10. Валендик Э.Н., Косов И.В. Тепловое излучение лесных пожаров и возможное его действие на древостой // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – Т. 25, № 1-2. – С. 88-92.

USING OF WOOD AS A SOLID FUEL COMPONENT IN A HYBRID ROCKET ENGINE

Budin A., Pozolotin A., Zyryanov I.
Supervisor: S. Reshetnikov, doctor of technical sciences, professor
(*Vyatka State University, Kirov*)

The paper presents experimental data that indicate using wood as a solid fuel component in a hybrid rocket engines (HRE) prospects. The features of birch and pine combustion in HRE are identified.

УДК 662.612.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ТЯГУ ГРД ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КАЧЕСТВЕ ТВЕРДОГО КОМПОНЕНТА ТОПЛИВА ПОЛИАМИДА 6

Будин А.Г., Позолотин А.П., Зырянов И.А.
Научный руководитель: С.М. Решетников, д.т.н., профессор
(Вятский государственный университет, г. Киров)

В работе представлены экспериментальные данные по увеличению тяги гибридного ракетного двигателя (ГРД) на топливной паре полиамид 6 – газообразный кислород при наличии электростатического поля в камере сгорания. Обозначены особенности влияния поля на процесс горения полиамида 6 в ГРД.

Использование гибридных ракетных двигателей (ГРД) заманчиво по ряду причин (простота конструкции, экологичность процесса горения, возможность повторного запуска и регулирования тяги изменением расхода окислителя и др. [1, 2]). Однако данному типу двигателей присущ ряд недостатков, обусловленных низкой скоростью сгорания твердого компонента топлива, сдерживающих распространение ГРД. Решение указанной проблемы, т.е. увеличение скорости регрессии твердого компонента, а, следовательно, и тяги двигателя является актуальной задачей. В настоящее время разработчики стремятся к интенсификации горения в ГРД различными путями, в том числе с помощью изменений состава топлива [3], использования конструкторских приемов интенсификации тепло- массообмена в камере сгорания (установка дросселирующих шайб, закрутка потока окислителя [2]). Кроме того, влиять на горение в ГРД возможно с помощью физических полей, в том числе электростатическим полем.

Поэтому целью настоящей работы является экспериментальное исследование влияния электростатического поля на скорость горения и тягу ГРД.

Экспериментальный стенд с модельным ГРД подробно описан в работах [4-6]. Он позволяет измерять такие параметры двигателя, как тяга, избыточное статическое давление в камере сгорания, линейная

скорость горения твердого компонента топлива. Особенностью стенда является наличие электрополевой системы, позволяющей создавать электростатическое поле в камере сгорания (рис. 1).

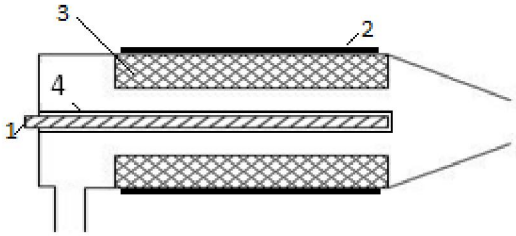


Рис. 1. Схема двигателя в разрезе с указанием расположения электродов:
1 – центральный электрод, 2 – внешний электрод, 3 – топливный блок,
4 – кварцевая изоляция центрального электрода

Твердый компонент топлива, использовавшийся в работе – полиамид 6, окислитель – газообразный кислород. Плотность потока окислителя варьировалась в пределах от 16 кг/м2с до 80 кг/м^{2}с, числа Рейнольдса при этом лежали в диапазоне 17000 до 90000, что соответствует турбулентному режиму.

Экспериментальное исследование влияния радиального электростатического поля на скорость горения топливного блока из полиамида 6 показало увеличение скорости горения на величину до 17% при разности потенциалов между электродами в 7 кВ (что соответствует напряженности поля на границе топливный блок – канал горения в 373 кВ/м).

Увеличение скорости регрессии твердого компонента топлива приводит к росту тяги двигателя, что подтверждается зависимостями тяги от времени, полученными для одинакового расхода окислителя при наличии и в отсутствии поля в камере сгорания (рис. 2).

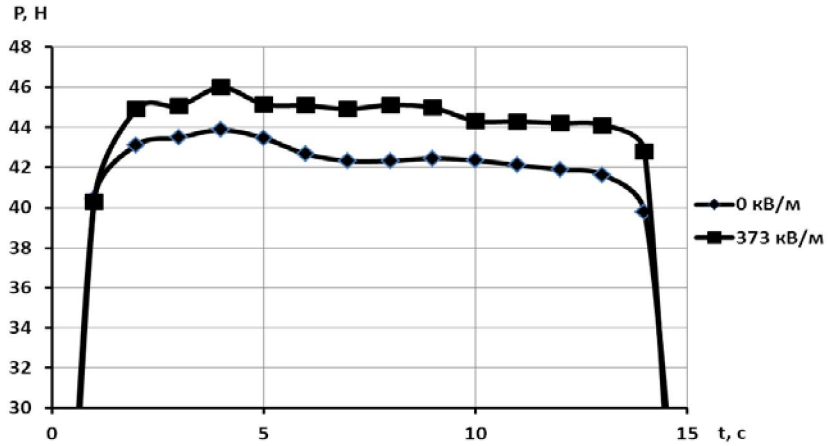


Рис. 2. Зависимость тяги от времени в отсутствии и при наличии электростатического поля (плотность потока окислителя 61 кг/м^{2}с)

Зависимость усредненных по времени значений тяги двигателя от напряженности поля на границе раздела фаз при различных значениях плотности потока окислителя показана на рис. 3.

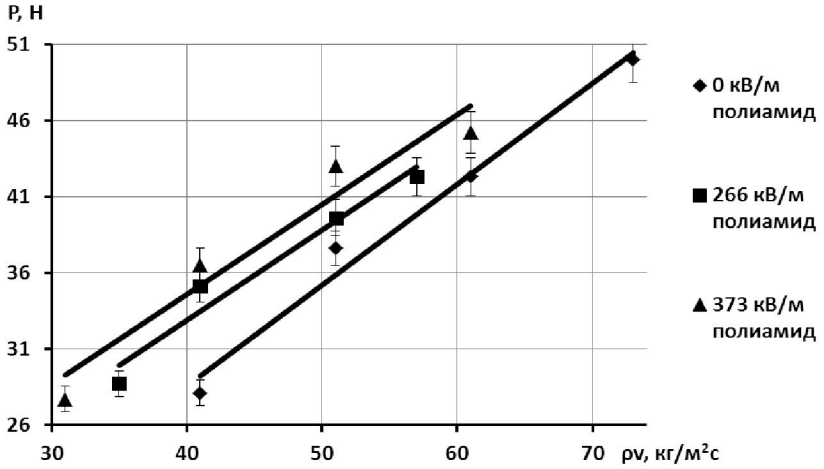


Рис. 3. Зависимость средней тяги двигателя от плотности потока окислителя при наложении электростатического поля

Установлено, что наложение электростатического поля увеличивает тягу ГРД при использовании топливной пары полиамид 6 – газообразный кислород на величину до 16% при напряженности поля на границе раздела фаз в 373 кВ/м.

Рост тяги ГРД в поле обусловлен увеличением скорости выгорания топливного блока. В свою очередь, для полиамида 6, представляющего собой плавящийся полимер с ярко выраженным слоем расплава, образующегося на поверхности топливного блока при его горении, увеличение скорости горения может быть объяснено следующим образом. Действие электростатического поля на жидкий расплав полимера может интенсифицировать процесс отрыва частиц конденсированной фазы, которые догорают в газовой фазе. Электростатическое поле интенсифицирует процесс диспергирования развитием неустойчивости поверхности, что и увеличивает скорость горения.

Таким образом, показано увеличение тяги ГРД на топливной паре полиамид 6 – газообразный кислород при наличии электростатического поля в камере сгорания. Предложено объяснение полученному эффекту в рамках интенсификации диспергирования расплава поверхностного слоя полиамида полем.

Список литературы

1. Иванов Н. Н., Иванов А. Н. К использованию гибридных ракетных двигателей на космических аппаратах //Вестник ФГУП НПО им. СА Лавочкина. – 2010. – №. 3. – С. 50-55.

2. Губертов А.М., Миронов В.В., Голлендер Р.Г. и др. Процессы в гибридных ракетных двигателях / под ред. А.С. Коротеева. – М.: Наука, 2008. 405 с.

3. Волков, Е. Б., Мазинг. Г.Ю., Шишкин Ю.Н. Ракетные двигатели на комбинированном топливе – М.: Машиностроение, 1973. - 184 с.

4. Решетников С.М., Будин А.Г., Позолотин А.П., Зырянов И.А. Разработка тестового стенда для исследования рабочих параметров гибридного ракетного двигателя // Общество, наука, инновации. (НПК-2015): всерос. ежегод. науч.-практ. конф.: сб. материалов, 13-24 апреля 2015 г. / Вят. гос. ун-т. - Киров, 2015. -1 электрон.опт.диск (CD-ROM). – С.921-925

5. Решетников С.М., Зырянов И.А., Позолотин А.П., Будин А.Г. Влияние электростатического поля на скорость горения в гибридном ракетном двигателе // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. – 2015. - № 1. - С. 52-57.

6. Reshetnikov S. M., Zyryanov I. A., Budin A. G., Pozolotin A. P. Heterogeneous mass transfer in HRE in the presence of electrostatic field research // Journal of Physics: Conf. Series. – 2017. - Vol. 789. – 3 p. doi:10.1088/1742-6596/789/1/012042.

INVESTIGATION OF THE ELETROSTATIC FIELD INFLUENCE ON THE THRUST OF HRE USING POLYAMIDE 6 AS A SOLID FUEL COMPONENT

Budin A., Pozolotin A., Zyryanov I.
Supervisor: S. Reshetnikov, doctor of technical sciences, professor
(*Vyatka State University, Kirov*)

In the paper, experimental data on the HRE thrust increase in the presence of an electrostatic field in the combustion chamber is presented. Fuel couple that was used is polyamide 6 - gaseous oxygen. The features of the field influence on the burning process of polyamide 6 in the HRE are presented.

УДК 62-9

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ БЕЗГЕНЕРАТОРНОГО ЖРД НА КОМПОНЕНТАХ КИСЛОРОД - ВОДОРОД

Василевский Д.О., Беляков В.А.
Научный руководитель: А.Г. Воробьев, доцент, к.т.н.
(Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет), г. Москва)

Важность проектирования геометрии охлаждающего тракта и расчета проточного охлаждения двигателя имеет неоспоримую значимость, что несомненно сказывается на прочности самой двигательной установки, для ускорения расчета и анализа возможных схем охлаждения крайне необходима математическая модель или программа которая быстро и доступно для пользователя справится с поставленной ему задачей. Данная работа может быть полезна инженерам и студентам, специализирующимся в области ракетостроение и двигателестроения.

Расчет регенеративного охлаждение – расчет, в результате которого получают распределение температур стенки со стороны газа и со стороны жидкости и температуру самой жидкости вдоль длины камеры сгорания и сопла. После анализа данного расчета можно дать заключение о надежности охлаждения двигателя, что позволяет нам в случае превышении допустимых температур плавления материала или кипения охлаждающей жидкости внести соответствующие поправки в конструкцию проточной части рубашки охлаждения, либо путём перепусков компонента получить равномерный теплосъем вдоль стенок КС и добиться разогрева жидкости ниже критической температуры.

Разработана программа по охлаждения камеры сгорания безгазогенераторого ЖРД. В программе используются теплофизические зависимости изменения свойств компонентов топлива (удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент динамической вязкости, плотность, комплекс теплофизических свойств, характеризующий охлаждающую способность охладите-

ля) от давления и температуры. Рассмотрены различные варианты подачи окислителя и горючего в рубашку охлаждения КС: одним или двумя компонентами.

Расчет параметров газового тракта, огневой стенки, тракта охлаждения ведется итерационно (тепловой поток в стенку ⇔ нагрев внутренней стенки ⇔ нагрев охладителя ⇔ нагрев внешней стенки) для последовательно расположенных сечений камеры.

Существует различное количество схем использующихся для охлаждения камеры сгорания. Рассмотрим некоторые из них.

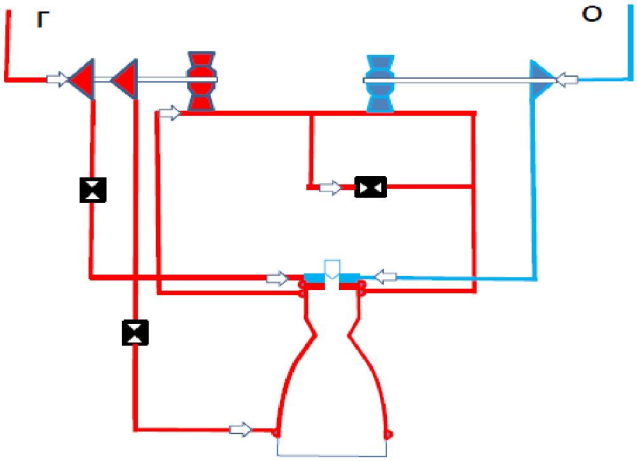


Рис. 1. Классическая схема охлаждения сопла двигателя

На (рис.1) представлена классическая схема охлаждения являющейся наиболее простой с конструктивной точки зрения и равномерно обеспечивающей охлаждение камеры. Регенеративное охлаждение в данных схемах в основном происходит горючим компонентом топлива. Хладагент подаётся в коллектор рубашки охлаждения в цилиндрической части КС и равномерно прогревается по всей длине двигательной установки. Пройдя весь путь в межрубашечном канале охладитель полностью воспринимает тепло от стенки со стороны газа, которая является внутренней стенкой и передает температуру на стенку со стороны жидкости являющейся

внешней стенкой со стороны окружающей среды жидкостного ракетного двигателя. Далее нагретый компонент выходит из коллектора в сечении камеры сгорания.

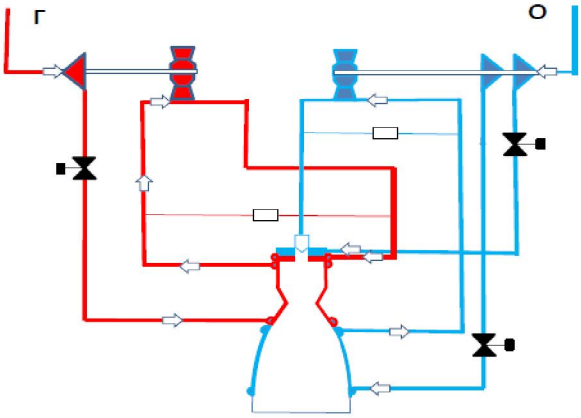


Рис.2. Схема с раздельными контурами О и Г

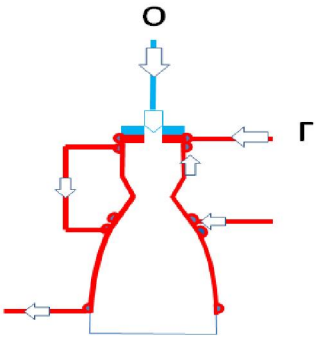


Рис.3. Схема с перепуском основного компонента

Схема охлаждения с раздельными контурами О и Г (рис.2) применяется для получения необходимой температуры, поступающей после охлаждения камеры сгорания на привод турбины, а также в случае, если горючее не обеспечивает достаточные условия

охлаждения камеры в виду своих критических параметров. Охлаждение в подобных схемах (рис.2) происходит горючим и окислителем. Компоненты топлива поступают в раздельные контуры рубашки охлаждения и охлаждают двигательную установку не зависимо друг от друга. Окислитель подаётся в коллектор рубашки охлаждения в область цилиндрической части КС и, прогревшись, выходит в закритическую часть двигательной установки. Горючее поступает в коллектор закритического сечения рядом с выходным коллектором контура окислителя, охлаждает критическое сечение, что является самым теплонапряженным участком в КС, выходит из коллектора в сечении камеры сгорания.

Схема охлаждения с перепуском (рис.3) позволяет существенно снизить температуру компонента в межрубашечном пространстве и тем самым обеспечить на выходе нужную температуры на привод турбины, существенным недостатком в такой схеме является гидравлические потери. Горючее поступает во входной коллектор в закритическом сечении камеры сгорания, затем поток раздваивается, одна часть идёт на срез сопла и выходит, другая же в камеру сгорания, где перепускается по трубопроводу и проходит в перепускной коллектор в закритической части сопла, выйдя перепущенный поток компонента соединяются с основным потоком и выходят обратно из выходного коллектора расположенного в сечении среза двигательной установки.

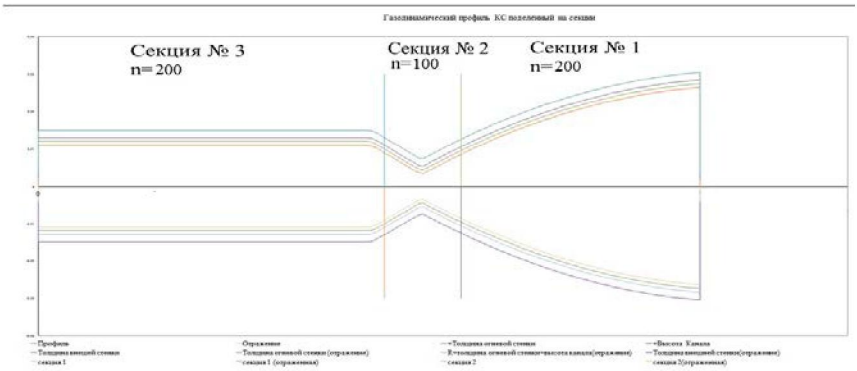


Рис.4. Камера сгорания с учетом длин стенок и высоты канала

Возможности разработанной математической модели представлены на (рис.4) позволяющие изменить геометрические параметры рубашки охлаждения в любом сечение, подобрать и разбить на секции полученную геометрию в местах изменения числа рёбер.

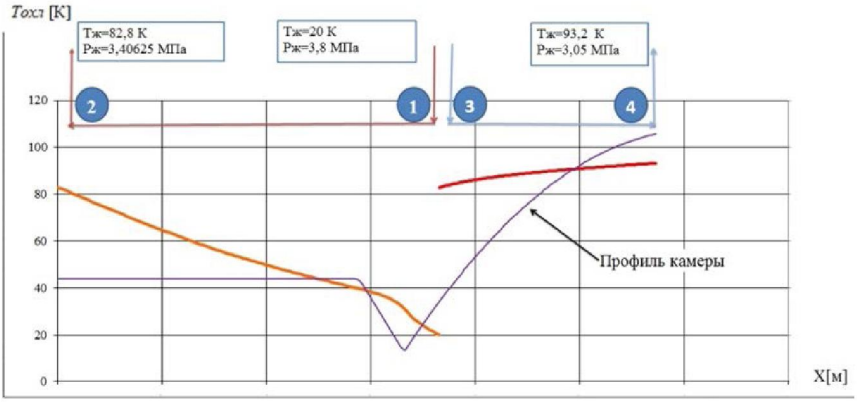


Рис. 5. Схема с перепуском водорода подаваемым в закритическую часть сопла

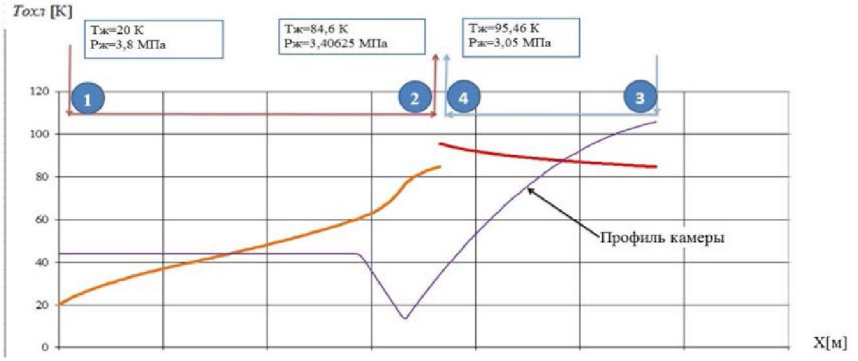


Рис. 6. Схема с перепуском водорода подаваемым в КС

Анализ вариантов схем охлаждения с учётом перепуска компонента (рис.5 и рис 6) был реализован в математической модели. Охлаждение осуществлялось водородом подаваемым в рубашку охлаждения с температурой 20 К.

На основании анализа вариантов охлаждения с перепуском была выявлена схема где компонент подавался в сечении камеры сгорания, затем перепускался до среза сопла и выходил из коллектора рубашки в закритическом сечение, преимущество данной схема в обеспечении лучшего теплосъема стенок и подогрева на выходе компонента до более высоких температур.

Список литературы

1. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей под общей редакцией Г.Г. Гахуна. М.: Машиностроение, 1989. — 424 с.

2. Александренков В.П. Расчет системы проточного охлаждения камеры жидкостного ракетного двигателя.

ANALYSIS OF REGENERATIVE COOLING ON LIQUID ROCKET ENGINE BYEXPANDED CYCLE ON THE COMPONENTS OF OXYGEN-HYDROGEN

Vasilevski D., Belyakov V.
Supervisor: A. Vorobiev, Associate Professor, Ph.D.
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

The importance of designing the geometry of the cooling jacket, and calculation of flow of engine cooling is of undeniable importance, which undoubtedly affects the strength of the most propulsion, to accelerate the calculation and analysis of possible schemes for cooling is extremely necessary to create a mathematical model or a program which is fast and available for the user to cope with his task. This work can be useful to engineers and students specializing in the field of rocket science and propulsion science.

УДК 621.454.3+536.8+519.6

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ РАСХОДА РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Кириллова А.Н.
Научный руководитель: Сабирзянов А.Н., к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Современными методами вычислительной гидродинамики проведены исследования влияния среднемассового размера конденсата на величину коэффициента расхода осесимметричных сверхзвуковых сопел. Получены расчетные зависимости коэффициента расхода для выбранных геометрий сопел, отражающие влияние среднемассового размера конденсата.

Совершенство процессов истечения из сопла ракетного двигателя оценивается с помощью коэффициента расхода сопла. Коэффициент расхода сопла представляет собой произведение различных его составляющих, одна из которых – двухфазная ($\mu_{2ф}$), учитывающая влияние конденсированных продуктов сгорания.

Численные методы позволяют провести оценку влияния формы и параметров потока на входе в сопло на совершенство процессов истечения [1, 2]. Возможность использования данного подхода для учета влияния конденсированной фазы также очевидна, но менее изучена относительно газодинамической составляющей.

Двухфазная составляющая суммарного коэффициента расхода может быть рассчитана по формуле [3]:

$$\mu_{2ф} = 1 + 1{,}23\, z_{кр}\, D_{кр}^{-0,23}\, p^{0,2}\, \theta_{кр}^{-0,05}\, R_2^{-0,16}, \qquad (1)$$

где $z_{кр}$ – массовая доля конденсированных продуктов сгорания в критическом сечении; $D_{кр}$ – диаметр критического сечения сопла, мм; p – давление, МПа; $\theta_{кр}$ – угол входной части сопла, град; R_2 – радиус скругления на входе в минимальное сечение сопла, мм.

Зависимость (1) учитывает влияние на двухфазную составляющую массовой доли, геометрических параметров сопла и давления, но не учитывает влияние среднемассовых размеров частиц (d_{43}).

Целью данной работы является оценка влияния среднемассового размера конденсата на величину коэффициента расхода. Объектом исследования являлись сверхзвуковые профилированные сопла, различающиеся углом наклона входной части сопла $\theta_{кр}$ =20°- 90° (рис.1).

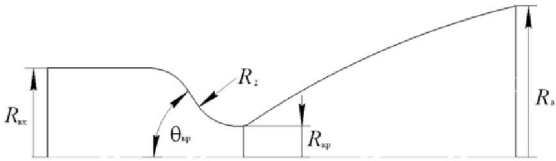


Рис.1. Расчетная модель

Моделирование проводилось в соответствии с работой [2]. Двухфазная среда задавалась равномерным распределением конденсированной фазы с заданным d_{43}, расходом, плотностью, температурой и скоростью. Частицы рассматривались сферическими, без взаимодействия и физического преобразования при равновесном допущении. На стенках принято условие скольжения конденсата. Расчеты проводились при следующих параметрах двухфазной среды: d_{43} = 10; 50; 100; 300 мкм с массовой долей z = 0,00003; 0,0003; 0,003; 0,01; 0,2; 0,3 и ρ_z =2719 кг/м^3. Параметры гомогенной среды в камере сгорания: T = 2353 К; p = 4 МПа ($\pi_c = \pi_{c**}$).

По результатам моделирования суммарный коэффициент расхода (с учетом газодинамической и двухфазной составляющих) рассчитывался по соотношению

$$\mu_{\Sigma} = \frac{\dot{m}}{A(k_z)\, pF_{кр} \Big/ \sqrt{(1-z)RT}}, \qquad (2)$$

где $\dot{m}$ – расчетное значение действительного расхода, p, T, k_z и R – давление и температура торможения, эффективный показатель адиабаты в зависимости от массовой доли конденсиро-

ванной фазы и равновесное значение газовой постоянной в минимальном сечении сопла, $A(k_z)$ – газодинамическая функция.

Увеличение массовой доли конденсата до $z = 0{,}03$ при постоянном d_{43} приводит к увеличению коэффициента расхода на 1 % по сравнению с гомогенной средой при сохранении характера зависимости коэффициента расхода от угла наклона контура дозвуковой части сопла $\mu = f(\theta_{кр})$. Влияние d_{43} при z = const в зависимости от $\theta_{кр}$ показано на рис.2. Увеличение размера частиц от 10 мкм до 300 мкм при $z = 0{,}003$ соответствует увеличению коэффициента расхода на 0,11 %. Моделирование наличия в потоке продуктов сгорания равномерного спектра частиц от 10 мкм до 300 мкм при той же массовой доле прогнозирует увеличение коэффициента расхода на 0,09 % по сравнению с гомогенной средой. С увеличением z растет влияние размеров частиц на коэффициент расхода.

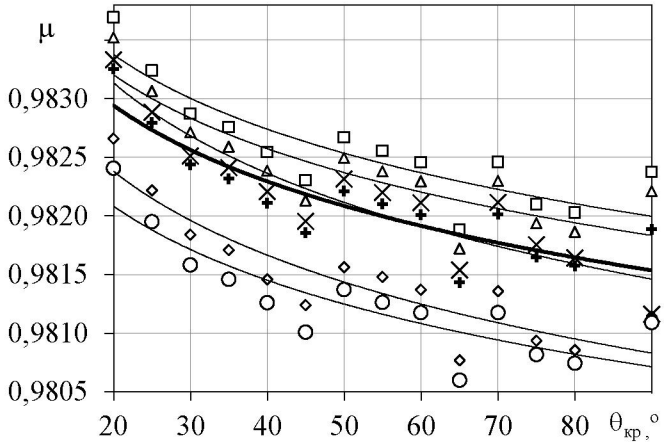


Рис. 2. Зависимость коэффициента расхода от диаметра частиц и угла наклона контура дозвуковой части сопла при массовой доле конденсата $z = 0{,}003$: □ – d_{43} = 300 мкм; Δ – d_{43} = 100 мкм; ✕ – d_{43} = 50 мкм; ◇ – d_{43} = 10 мкм; ✚ (——) – d_{43} = 10 ÷ 300 мкм; ○ – гомогенная среда

На рис.3 приведено сопоставление результатов расчета двухфазной составляющей коэффициента расхода по обобщенной зави-

симости (1) и полученных численно $\mu_{2ф} = \mu_{\Sigma} / \mu_{c}$ для сопла с углом наклона контура дозвуковой части $\theta_{кр} = 20°$, где μ_c – газодинамическая составляющая коэффициента расхода при тех же условиях, но без конденсированной фазы (данные взяты из работы [2]). Геометрические характеристики сопла и параметры расчета не изменялись.

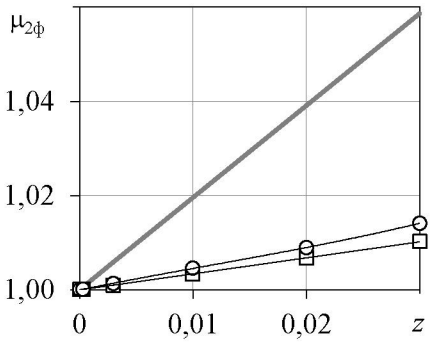


Рис. 3. Двухфазная составляющая коэффициента расхода для угла наклона контура дозвуковой части сопла $\theta_{кр} = 20°$: ——— – формула (5); □ – расчеты при $d_{43} = 50$ мкм; ○ – расчеты при $d_{43} = 300$ мкм

Представленные результаты существенно расходятся с данными, полученными по обобщенной зависимости (1). Относительное расхождение по двухфазной составляющей при значительной массовой доле может достигать 4 %. Увеличение d_{43} с 50 мкм до 300 мкм соответствует увеличению $\mu_{2ф}$ на 0,4 %, а увеличение $\theta_{кр}$ приводит к незначительному относительному увеличению. Существенное расхождение, вероятно, обусловлено эффектами двухфазной неравномерности.

В результате расчета проведена оценка влияния массовой доли и среднемассового размера конденсата на коэффициент расхода. Получено, что существует зависимость коэффициента расхода от размера частиц и влияние размера растет при увеличении массовой доли конденсата.

Список литературы

1. Тырышкин, Р.А. Применение RANS моделей турбулентности для расчета коэффициента расхода в расходомере со стандартной диафрагмой / Р.А. Тырышкин, В.А. Фафурин, В.В. Фефелов, А.Н. Сабирзянов, В.Б. Явкин В.Б.// Вестник Удмуртского университета «Математика. Механика. Компьютерные науки», 2010, Вып. 2 – с.109-116

2. Сабирзянов, А.Н. Численное моделирование влияния геометрических параметров сопла на коэффициент расхода ДЛА. / А.Н. Сабирзянов, А.Н. Кириллова // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: материалы докладов междунар. научно-техн. конф. 22-24 июня 2016 г. – Самара: Самарский университет, 2016 – Ч.2. – С.39-40

3. Губертов, А.М. Газодинамические и теплофизические процессы в ракетных двигателях твердого топлива / А.М. Губертов, В.В. Миронов, Д.М. Борисов, В.Н. Баскаков, Л.И. Волкова и др. Под ред. А.С. Коротеева – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.

ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF THE CONDENSED PHASE ON THE ROCKET MOTOR FLOW COEFFICIENT

Kirillova A.
Supervisor: A. Sabirzyanov, Candidate of Technical Sciences
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Modern methods of computational fluid dynamics have been used to study the effect of the average mass size of a condensate on the magnitude of the consumption coefficient of axisymmetric supersonic nozzles. The calculated dependences of the flow coefficient for the selected nozzle geometries are obtained reflecting the effect of the average mass condensate size.

УДК 629.76

ОЦЕНКА РИСКА НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССОВ СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВА В РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Мокшин И.А., Румянцева П.О.
Научный руководитель: В.П. Махитько, д.т.н., профессор
(ФГБОУ ВО Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева, г. Ульяновск)

Рассмотрены физические и химические процессы в камере сгорания ракетного двигателя. Проанализированы причины разрушения стенок камеры сгорания двигателя.

Совершенствование ракетных двигателей является актуальной научно-практической задачей передовых стран. Несмотря на значительные средства, инвестируемые в космическую отрасль, сохраняются причины неудачных запусков ракет. Цель данной работы – проанализировать физические и химические процессы в камерах сгорания ракетных двигателей и пути снижения рисков при их эксплуатации.

Развитие ракетостроения и двигателестроения связано с инновациями в области конструкции ракет и их запуска, с появлением новых видов топлива и инновационных материалов. Под инновацией (от позднелат. *inovatio*, англ. *innovation* – нововведение) понимается любое новое явление, процесс или продукт, возникшие в результате научных разработок, проектов, технологических решений, которые не использовались ранее [2, с.122]. Инновации могут возникать как принципиально новый объект или способ деятельности, однако чаще они появляются в результате критического анализа причин отказов оборудования, аварий, катастроф.

Модернизация ракетных двигателей также требует оценки имеющегося опыта для выявления причин неудачных запусков космических аппаратов. Снизить риски позволяют разработки новых наноматериалов с нужными свойствами.

Ракеты для фейерверков изготавливались в Китае сотни лет назад, к началу XIX в. там относят изобретение твердотопливных

боевых ракет. Твердотопливные двигатели использовались для создания ускорения или для непродолжительных задач (запуска) ракеты. Если требуется управление двигателем, то такая система не подходит, и используются двигатели на жидком топливе.

Движение ракеты на твердом топливе основано на том, что оно быстро горит, но не взрывается. Оружейный порох включает 75 % нитрата (селитры), 15 % угля и 10 % серы – такое соотношение приведёт к взрыву в ракетном двигателе [5, с.56]. Чтобы происходило горение, используют следующую пропорцию: 72 % нитрата, 24 % угля и 4 % серы – это состав ракетного топлива, которое, если его правильно загрузить, быстро горит, но не взрывается.

Для того, чтобы ракетный двигатель не только вывел летательный аппарат на необходимую высоту, но обеспечивал его маневрирование, необходимы жидкостные ракетные двигатели. Принципы их работы были разработаны К. Э. Циолковским в 1903 г. и совершенствуются до сегодняшнего дня. В большинстве жидкотопливных ракетных двигателях топливо и окислитель (например, бензин и жидкий кислород) закачиваются в камеру сгорания. Там они сгорают, чтобы создать поток горячих газов с высокой скоростью и давлением. Эти газы проходят через сопло, которое еще больше их ускоряет (от 8000 до 16 000 км/ч, как правило), а после выходят [4]. Таким образом, создаётся непрерывное управляемое движение.

Для высокой тяги при розжиге в переднем ракетного сегменте двигателя выполнено специальное отверстие в форме 11 - конечной звезды, такое же отверстие в форме дважды усеченного конуса сделано в каждом из остальных сегментов, включая конечный. Эта конфигурация отверстий также уменьшает тягу примерно на треть спустя 50 сек. после старта ракеты, предотвращая её перенапряжение во время максимального динамического давления.

В камере сгорания ракетного двигателя происходит несколько физических и химических процессов. Сначала продукты сгорания проникают к стенкам камеры сгорания, происходит процесс физической адсорбции (при котором твердое вещество поглощает газ). Затем на поверхности стенок начинаются химические взаимо-

действия, хемосорбция (поглощение с образованием химических соединений), сублимация (переход твердого вещества в газообразное) и испарение. Продукты сгорания проникают внутрь теплозащитного покрытия и стенок камеры сгорания, вступая в химические взаимодействия [3].

Время работы двигателей на жидком топливе многом ограничивается агрессивным воздействием продуктов сгорания ракетного топлива на материал камеры сгорания [1]. Теплозащитное покрытие и стенки камеры сгорания двигателя при этом могут разрушаться. Для исследования физических и химических процессов, протекающих в камере сгорания, проводятся исследования материала на атомарном и нано-уровнях. Изучаются процессы взаимодействия продуктов сгорания (керосина и кислорода) с теплозащитным хромоникелевым гальваническим покрытием и медной стенкой камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя в интервале температур от 600-1800° при давлениях 80-160 атмосфер.

Реакции с водородом в камере сгорания приводят к хрупкости металлов в результате проникновения его в покрытие и образования гидридов. Водород вступает в химическое взаимодействие с различными элементами и фазами в металлах и сплавах и проникает в микрополости, поры и микротрещины на поверхности камеры сгорания. Водород растворяется в кристаллической решетке металла в атомарном состоянии. Происходит *хемосорбция*, в результате которой хром, никель и медь образуют с водородом совершенные растворы. С повышением температуры количество адсорбированного водорода увеличивается.

Другой причиной разрушения стенок камеры сгорания двигателя является *взаимодействие с углеродом*, который образуется из оксида углерода на металлическом покрытии. Образующийся сажистый углерод может самоорганизовываться в нановолокна. На хромовом покрытии концентрация углерода может оплавляться, после чего в стенке камеры сгорания возникает трещина [4].

В некоторых случаях на внутренней стенке камеры сгорания образуются *углеродные волокна* – на катализаторах (никель, медь), дефектах поверхности, трещинах, включениях, очагах газовой коррозии и отдельных частицах. Углеродные наноструктуры могут

отрываться под действием газового потока, унося частицы металлического покрытия.

Образование трещин и эрозия покрытия могут возникать при частичном *испарении металлов* (сублимации). Теплозащитное покрытие может также разрушать *кислород*, окисляющий медь и хром с появлением эрозии. При высоких температурах элементы газового потока (углерод и кислород) взаимодействуют с теплозащитным покрытием и стенками камеры сгорания, что также приводит к охрупчиванию хромового слоя за счёт образования оксидов и карбидов, а также углеродных нановолокон.

Кроме названных причин, риски разрушения ракетного двигателя создаются перепадами температуры. Они способствуют развитию термических напряжений в покрытии, которые возникают из-за деформации поверхности стенки при нагреве или увеличении давления.

Таким образом, анализ физических и химических процессов, происходящих в различных типах ракетных двигателей, – это необходимое условие для предотвращения аварий ракетной техники.

Список литературы

1. Гахун Г. Г. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей / Г. Г. Гахун, В. В. Баулин. – Космонавтика, 1989. – 213 с.

2. Захарова И. В. Управление развитием регионального авиационного кластера / И. В. Захарова. – Ульяновск : УИ ГА, 2016. – 159 с.

3. Принцип работы ракетных двигателей [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://hi-news.ru/technology, свободный – Загл. с экрана.

4. Физические и химические процессы в ракетных двигателях на наноуровне // Наука и технологии России. – 25.12.2009 [Электронное издание] / Режим доступа : http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=222&d_no=26460&FullScreen=1#.WRS1jdLyhpg, свободный – Загл. с экрана.

5. Шишков А. А. Рабочие процессы в ракетных двигателях твёрдого топлива : Справочник / Шишков А.А., Панин С.Д., Румянцев Б.В. – М. : Машиностроение, 1989. – 239 с.

WORK PROCESSES IN ROCKET ENGINES

Moksin I., Rumyantseva P.
Supervisor: V. Mahitko, doctor of technical Sciences, Professor
(Ulyanovsk Institute of Civil Aviation, Ulyanovsk)

The article Considers the physical and chemical processes in the combustion chamber of the rocket engine. Analyzed the causes of the destruction of the walls of the combustion chamber of the engine.

УДК621.454.2

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В КАМЕРЕ ЖРД И ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ КАМЕРЫ ДВИГАТЕЛЯ РД-161П

Пахомов А.К.
Научный руководитель: Ю.С. Чудина
(Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет), г. Москва)

Основной целью данного исследования является разработка эффективной системы охлаждения стенок камеры сгорания двухрежимного жидкостного ракетного двигателя, работающего на компонентах топлива высококонцентрированная перекись водорода и керосин. В рамках исследования было проведено численное моделирование внутрикамерных процессов ЖРД, а также сделана оценка теплового состояния конструкции камеры двигателя-прототипа РД-161П.

Для достижения вышеупомянутой цели проведен сопряженный тепловой расчет рабочего процесса в камере двигателя с учетом горения в среде конечно-элементного анализа Ansys CFX.

Многие годы ракетно-космические отрасли развитых стран работают над созданием экономически более эффективных средств выведения полезной нагрузки на низкую опорную орбиту Земли.

Большой интерес для решения вышеупомянутой задачи представляет использование в составе транспортно-космической системы (ТКС) гиперзвукового прямоточного воздушно-реактивного двигателя (ГПВРД). За счет того, что ГПВРД использует атмосферный воздух можно значительно снизить бортовой запас окислителя и повысить массу полезной нагрузки.

Использование ГПВРД влечет за собой некоторые технические трудности. К ним относится, например, требование предварительного разгона летательного аппарата (ЛА) до скоростей больше M=2 для начала работы ГПВРД. Также рабочие процессы в камере сгорания (КС) ГПВРД требуют тщательного изучения, чтобы до-

биться эффективного процесса горения при сверхзвуковых скоростях в КС.

Для того чтобы учесть все полетные факторы и в целом отработать конструкцию ГПРВД и ЛА целесообразно разработать летательный аппарат – демонстратор, который будет играть роль летающей лаборатории по изучению особенностей работы в натурных условиях.

Коллективом кафедры 202 Московского авиационного института была разработана концепция ЛА, который может быть использован в качестве ТКС, с использованием ГПВРД. На рис. 1 приведена принципиальная схема этого ЛА.

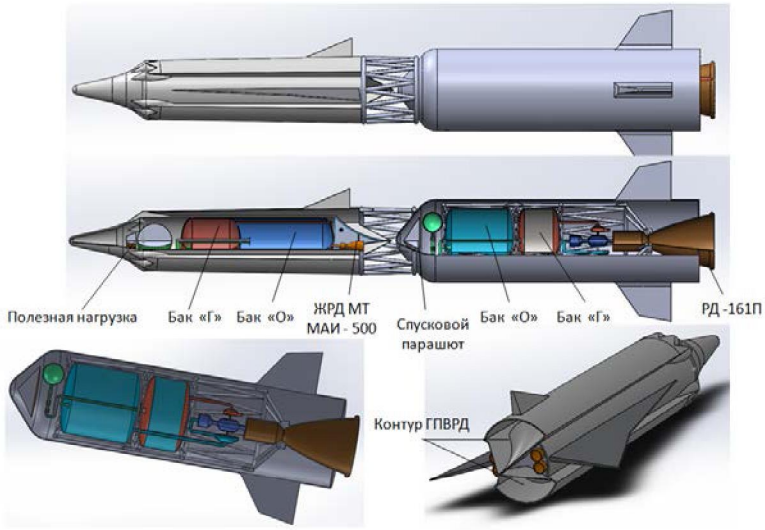


Рис. 1. Демонстратор ТКС с ГПВРД

В состав демонстратора входят 2 ступени: первая – разгонная, в качестве маршевого двигателя в ней предполагается использовать жидкостной ракетный двигатель (ЖРД) РД-161П с внесением некоторых изменений в конструкцию, вторая ступень – маршевая, состоит из двух двигательных установок (ДУ) - ГПВРД и блока из 4-х ЖРД малой тяги.

В данной работе рассматривается ДУ первой (разгонной) ступени, поэтому ниже эта ДУ будет рассмотрена более подробно.

Двигатель РД-161П был разработан в НПО «Энергомаш» г. Химки. Данный двигатель работает по закрытой схеме на экологически чистых компонентах топлива высококонцентрированная перекись водорода (ВПВ) + керосин и обеспечивает удельный импульс в вакууме 317 сек. Одной из характерных черт этого двигателя является то, что он может работать в двух режимах: с использованием пары компонентов топлива(т.е. на ВПВ + керосин) или только на продуктах разложения перекиси. В двухкомпонентном режиме тяга составляет 2,5 тс, а в «перекисном» режиме – 1,5 тс.

Работа двигателя первой ступени демонстратора прекращается на высоте около 20 км. Это означает, что высотное сопло РД-161 нам не подходит, так как на таких высотах возможно нахождение скачка уплотнения внутри сопла, что приведет к ухудшению характеристики работы двигателя. Во избежание этого было принято решение адаптировать сопло РД-161П для полета на низких высотах. Выбрано давление на срезе сопла 0.023 МПа, что соответствует высоте 11 км и произведены расчеты термодинамических величин в камере, состава продуктов сгорания, геометрии проточной части камеры. Уменьшение степени расширения сопла влечет за собой снижение удельного импульса. Для того чтобы тяга осталась на прежнем уровне, были увеличены расходы компонентов топлива, а это, в свою очередь, повлекло изменение энергетических характеристик турбонасосного агрегата (ТНА). Из выше сказанного следует необходимость проведения расчета по увязке энергетических параметров двигателя, реализованного с использованием программного комплекса Rocket Propulsion Analysis (RPA).

Наряду с перечисленными расчетами проводилось исследование теплового состояния камеры сгорания и сопла с учетом измененной геометрии сопловой части и новым значением расхода охладителя.

Постановка задачи сопряженного теплового расчета с учетом процесса горения в КС двигателя и ее решение реализовано в программном комплексе Ansys CFX. Наряду с этим была проведена оценка теплового состояния КС и сопла в программном комплексе

HOLOD и RPA для сравнения и верификации расчетной модели Ansys CFX.

В качестве материала огневой стенки двигателя был выбран бронзовый сплав БрХ-08, для силовой стенки – сталь 12Х18Н10Т. Охлаждающий компонент – горючее, то есть керосин. Схема регенеративного охлаждения первоначально выбрана классическая - противоточная.

После получения геометрических параметров тракта охлаждения создана секторная 3D модель рабочего объема, включающая следующие элементы: гидравлический объем КС и сопла, гидравлический объем одного канала охлаждающего тракта, часть огневой и силовой стенок, прилегающих к каналу охлаждения.

На основе 3D моделей построены блочные сетки конечных элементов для проведения сопряженного расчета. Гекса- сетки создавались с помощью программы ICEM CFD, данная программа позволяет получать сетки высокого качества при сравнительно небольшом количестве элементов. На рис. 2 представлен сеточный объем проточной части камеры двигателя и области, в которую происходит истечение продуктов сгорания.

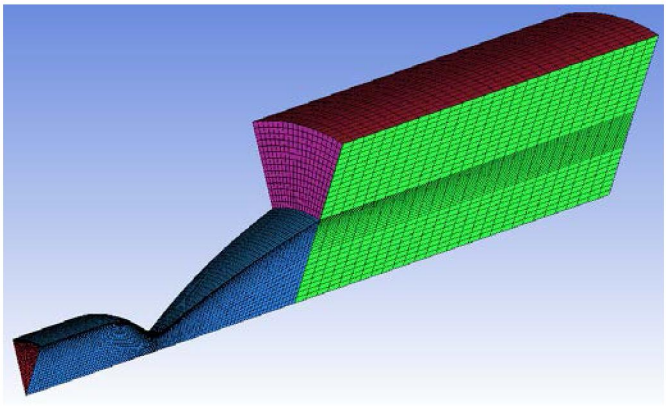


Рис. 2. Пример сетки конечных элементов

Для того чтобы узнать положение скачка уплотнения за соплом и убедится, что скачок не заходит внутрь сопла проводи-

лась серия расчетов с варьированием давления окружающей среды. Результаты этих расчетов приведены на рис. 3 в виде полей распределения скоростей движения смеси продуктов сгорания.

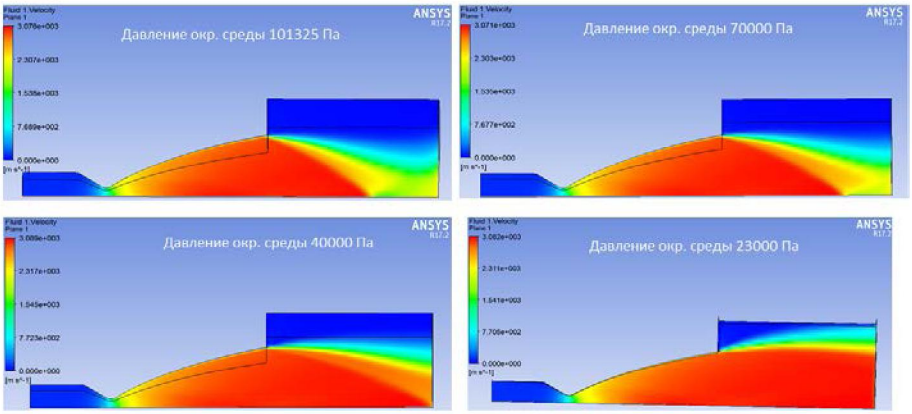


Рис. 3. Распределение скоростей потока при варьировании давления окружающей среды

В качестве начальных условий для ускорения сходимости расчетов были использованы распределения давления, температуры, скорости продуктов сгорания по длине КС и сопла, полученные в результате расчетов в программе RPA. Для моделирования течения продуктов сгорания использовались результаты равновесного термодинамического расчета.

Следующим этапом проведения теплового сопряженного расчета было определение граничных условий и допущений для моделирования горения.

Процесс диффузионного горения предварительно не перемешанных смесей задавался уравнениями окислительно-восстановительной реакции газообразных (испарившихся) компонентов топлива. Испарение распыленного жидкого керосина моделировалось с использованием встроенной в CFX модели дискретной фазы Particle Tracking. Кроме того проводилось моделирование нагрева охладителя в рубашке охлаждения.

В результате сопряженного теплового расчета были получены поля распределения температур продуктов сгорания по камере двигателя, температуры огневой стенки, охладителя, силовой стенки, распределение давления охлаждающего компонента в рубашке охлаждения. На основе этого расчета произведена коррекция схемы регенеративного охлаждения и введено завесное охлаждение, что позволило оптимизировать схему охлаждения для обеспечения надежного теплового состояния конструкции камеры двигателя для первой ступени демонстратора ТКС.

В будущем планируется проведения моделирования в среде Ansys рабочих процессов в двигательных установках второй ступени демонстратора.

Список литературы

1. Добровольский М.В.Жидкостные ракетные двигатели.ПодредакциейД.А.Ягодникова – Москва: МГТУ им Н.Э.Баумана, 2005.

2. Alexander Ponomarenko RPA: Tool for Rocket Propulsion Analysis Thermal Analysis of Thrust Chambers, 2012.

3. Козлов А.А., Аврашков В.Н., Боровик И.Н., Чудина Ю.С., Козлов О.А Демонстратор двухступенчатой многоразовой транспортной космической системы с использованием жидкостных ракетных двигателей и гиперзвукового прямоточного воздушно-реактивного двигателя – Москва: Вестник Московского авиационного института, 2016.

4. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: практическое руководство – Москва: Едиториал УРСС, 2003.

NUMERICAL MODELING OF THE WORKING PROCESS IN THE LIQUID ROCKET ENGINE COMBUSTION CHAMBER AND EVALUATION OF THE CONSTRUCTIONTHERMAL STATE OF THE ENGINE COMBUSTION CHAMBER RD-161P

Pakhomov A.K.

Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Chudina Y.S.
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

The main purpose of this study is to develop an efficient cooling system for the combustion chamber walls of a dual-mode liquid rocket engine, highly concentrated hydrogen peroxide and kerosene on fuel components. Within the framework of the study, numerical modeling of the intra-chamber LRE processes was carried out, and an assessment of the thermal state of the construction of the engine chamber of the prototype RD-161P was made.

In order to achieve the above-mentioned goal, an associated thermal calculation of the working process in the LRE combustion chamber was carried out taking into account combustion by finite element analysisusing Ansys CFX.

УДК 544.431.7

СОКРАЩЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ РЕАКЦИЙ КОМБИНАЦИЕЙ МЕТОДОВ DRGEP

Сафиуллин И.И.
Научный руководитель: В.Г. Крюков, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Задача сокращения механизмов является обратной, не имеет однозначного решения, и лучшая техника редуцирования еще не определена. Поэтому многие исследователи продолжают разрабатывать новые методы и формировать разнообразные технологии сокращения [2,4,5,6,7,8,9]. В данной работе предлагается комбинированная технология сокращения механизма реакций с использованием метода зацепления и алгоритма Дейкстры.

Задача Дейкстры и метод DRGEP сокращения реакционных механизмов

В настоящее время есть ряд методов сокращения механизмов горения углеводородных топлив. Рассмотрим новую технику сокращения, использующую алгоритм Дейкстры [1] и модифицированный метод «зацепления».

Пусть имеется ориентированный граф с вершинами и взвешенными дугами, соединяющими эти вершины. (Рис.1.1). Задача Дейкстры состоит в нахождении кратчайших путей из одной изначально заданной вершины графа до всех остальных, а алгоритм Дейкстры находит эти пути. С его помощью, при наличии всей необходимой информации, можно, например, узнать какую последовательность дорог лучше использовать, чтобы добраться из одного города до каждого из многих других, или в какие страны выгодней экспортировать нефть и тому подобное.

На рис.1.1 показан пример «взвешенного графа», имеющего 6 вершин и 8 дуг, а числа над дугами означают расстояния между вершинами. Между одними и теми же вершинами существуют несколько различных путей, и не обязательно прямой путь будет са-

мым коротким. Например, из вершины 1 (В1) до вершины 2 (В2) прямой путь равен 7-ми единицам, а через В3 он составляет 6 единиц. Пусть исходной точкой является вершина В1. Тогда очевидно самыми короткими «расстояниями» до других вершин являются:

а) до В2 (В1 → В3→ В2); L = 6
б) до В3 (В1 → В3) L = 4
в) до В4 (В1 → В3→ В4) L = 7
г) до В5 (В1 → В5) L = 2
д) до В6 (В1 → В3→ В4 → В6) L = 9

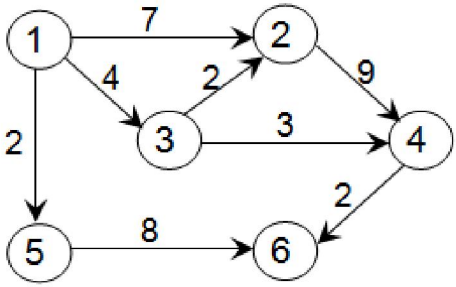


Рис. 1.1. Пример ориентированного графа с взвешенными дугами

В данном примере решение задачи– очевидно, но алгоритм Дейкстры является универсальным, и может быть применен для графов практически любой сложности.

Алгоритм Дейкстры лежит в основе метода DRGEP [2] сокращения реакционных механизмов. В этом методе вершины графа соответствуют веществам, а дуги означают связи между ними. Каждой дуге приписывается «сила связи», между веществами, и эти силы необходимо количественно оценить. Между двумя любыми веществами могут «протянуться одна прямая и несколько связей через ряд промежуточных веществ (рис. 1.2). Основной задачей метода DRGEP является определение самых влиятельных связей между целевыми (*t* - вещества) остальными (*i* - вещества) веществами. Если какое-то *i* – вещество слабо влияет на каждое из *t* – веществ, то оно исключается из сокращаемого механизма.

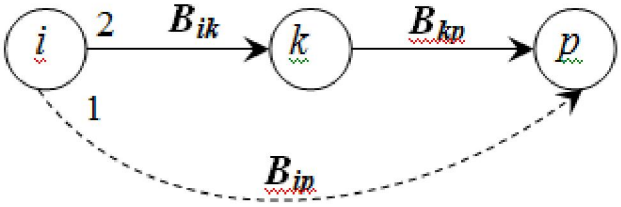


Рис. 1.2. Фрагмент графа реакций со взвешенными дугами.
1 – прямая связь; 2 – связь через промежуточную вершину

Стартовыми точками при расчете связей являются вершины целевых веществ. Следуя работе [8], силу непосредственной связи между двумя любыми i –ым и k - ым веществами будем определять по формуле:

$$B_{ik} = \frac{G_{ik}}{F_i} = \frac{\sum_j abs\left\{\nu_{ij}\left(\Omega_j - \Omega_{j+m_c}\right)\right\}_k}{\sum_j abs\left\{\nu_{ij}\left(\Omega_j - \Omega_{j+m_c}\right)\right\}} \quad j = 1\ldots m_c \;\; i, k = 1\ldots n_c \qquad (1.1)$$

где $F_i = \sum_j abs\left\{\nu_{ij}\left(\Omega_j - \Omega_{j+m_c}\right)\right\}$ -сумма абсолютных разностей всех реакций с участием i –го вещества; $G_{ik} = \sum_j abs\left\{\nu_{ij}\left(\Omega_j - \Omega_{j+m_c}\right)\right\}_k$ сумма абсолютных разностей всех реакций с участием как i-го так и k - го вещества.

При $i = k$ значение $B_{ik} = 1$, а в общем случае эти значения находятся в интервале $0 \le B_{ik} \le 1$ и ассоциируются с дугами графа реакций. При наличии промежуточных вершин (веществ) сила связи между веществами определяется произведением сил связей соединяющих дуг. Например, для фрагмента графа (рис.1.2) имеем

$$B_{ip}^{(2)} = B_{ik} \cdot B_{kp} \qquad (1.2)$$

Между i –ым и p - ым веществами могут иметься еще несколько связей, включая прямую связь $B_{ip}^{(1)}$, и, применяя процедуру Дейкстры, можно определить самые влиятельные связи между t – веществами и i – веществами. Однако, алгоритм Дейкстры оперирует только с положительными числами и использует операции сложения. Поэтому необходимо провести преобразование:

$$F_{ik} = -\ln B_{ik} \qquad (1.3)$$

и тогда можно применить этот алгоритм к каждому целевому веществу. В результате получим матрицу Z_{it}^{d} размерностью $\{i = 1\ldots n_c.;\ t = 1\ldots m_f\}$, применяя к которой обратное преобразование: $Z_{it} = exp\left(-Z_{it}^{d}\right)$, получим искомую матрицу самых влиятельных связей между каждым i – ым веществом со всеми целевыми веществами. Выбирая из каждой i – ой строки самое большое число $G_i = max\left(Z_{it}\right)$, получим показатель влияния i – го вещества на целевые. Если значение G_i будет меньше заданного порога, т. е. $G_i \le \zeta_d$, то i – ое вещество удаляется из сокращаемого механизма вместе с соответствующими реакциями. Описанная процедура сокращения механизма называется методом DRGEP, и она ориентирована на удаление веществ, но показатель G_i можно использовать далее для удаления реакций по методу зацепления с переменным порогом, полагая $K_i = 1/G_i$, когда реакции, скорости которых удовлетворяют соотношению $|\Omega| \le K_i \zeta_1 F_i$, следуют удалять из сокращаемого механизма. В результате комбинации двух методов (DRGEP и «зацепления») получается LS – механизм для заданной точки $\{\alpha_{ок}, T, P\}$.

Пример расчета сокращения реакционного механизма

Апробация изложенного метода была выполнена для реагирующей смеси “CH_4+ воздух”. Полный механизм ее горения, представлен в [3] и содержит 28 веществ и 131 реакций. Формирования LS – механизма проводилось для условий реактора идеального

смешения при: $\alpha_{ок} = 1{,}0$; $T_0 = 2700$ К; $P = 1$ атм. Время пребывания $\tau_{пр} = 0{,}39 \cdot 10^{-4}$сек. Вещество N_2 считалось инертным. Заданный набор целевых веществ составляют: CH_4, O_2, CO_2, H_2O. В расчетах были приняты следующие пороговые значения: $\zeta_d = 0{,}01$; или $\zeta_1 = 0{,}04$;

На первом этапе (после применения метода DRGEP) сокращенный механизм включал 15 веществ и 58 реакций. На втором этапе (после применения метода зацепления) число веществ не уменьшилось, но число реакций сократилось до 15. Этот сокращенный механизм показан в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Сокращенный механизм после применения методов DRGEP и зацепления

№	Реакция	№	Реакция
2	H+O2=O+OH	33	CH3+O=CH2O+H
3	H2+O=H+OH	35	CH3+OH=CH2+H2O
4	H2+OH=H2O+H	45	CH2O+H=HCO+H2
5	OH+OH=H2O+O	47	CH2O+OH=HCO+H2O
24	CO+OH=CO2+H	48	HCO+M=CO+H+M
27	CH4+H=CH3+H2	49	HCO+H=CO+H2
28	CH4+O=CH3+OH	51	HCO+O=CO2+H
29	CH4+OH=CH3+H2O		

Затем для проверки эффективности сокращения по разработанной комбинированной технологии к программному обеспечению временно были подключены блоки «анализ веществ» и «анализ реакций». Применение этих блоков требует большого объема вычислений, но они наиболее эффективно сокращают реакционный механизм. В результате их применения механизм реакций сократился до 13 веществ и 14 реакций. Таким образом, предварительно

можно отметить, что разработанная технология является достаточно эффективной.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований и правительства Республики Татарстан (№ 15-48- 02454/2016).

Список литературы

1. Дейкстра Э.В. Дисциплина программирования. 1–ое изд. М: Мир, 1978, 275стр.

2. P.Pepiot-Desjardins, H.Pitsch. An efficient error-propagation-based reduction method for large chemical kinetic mechanisms. Combustion and Flame, 2008, Vol. 154, pp. 67-81.

3. Glarborg P., Miller J.A., Kee R.J. Kinetic Modeling and Sensitivity Analysis of Nitrogen Oxide Formation in Well-Stirred Reactors. Combustion and Flame, Vol.65, pp.177-202, 1986.

4. Лебедев А.В., Окунь М.В., Баранов А.Е., Деминский М.А., Потапкин Б.В. Упрощение кинетических механизмов физико-химических процессов на основе комбинированных математических методов. Химическая физика и мезоскопия. 2011. Том 13, № 1 , стр. 43-52,

5. Sun W., Chen Z., Gou X., Ju Y. A path flux analysis method for the reduction of detailed chemical kinetic mechanisms. Combustion and Flame, 2010, Vol. 157, pp. 1298-1307.

6. Y. Xin, Z. Song, Y.Z. Tan, D. Wang. The directed relation graph method for mechanism reduction in the oxidative coupling of methane, Catalysis Today 131 (2008), pp.483–488

7. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ. М. Физматлит, 2003, 352 стр.

8. Nagy T, Turanyi T. Reduction of very large reaction mechanisms using methods based on simulation error minimization. Combustion and Flame, 2009, Vol. 156, pp. 417-428.

9. Kalamatianos S., Park Y.K., Vlachos D.G. Two-parameter continuation algorithms for sensitivity analysis, parametric dependence, reduced mechanisms, and stability criteria of ignition and extinction. Combustion and Flame, 1998, Vol. 112, pp. 45-61.

REDUCED MECHANISMS OF REACTIONS BY THE COMBINATION OF DRGEP METHODS

Safiullin I.
Supervisor: V. Kryukov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The task of reducing mechanisms is inverse, has no unambiguous solution, and the best reduction technique has not yet beendetermined. Therefore, many researchers continue to develop new methods and form a variety of reduction technologies [2,4,5,6,7,8,9]. In this paper we propose a combined technology for reducing the reaction mechanism using the method of engagement and the Dijkstra algorithm.

УДК 621.454.3

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ КАНАЛА ЗАРЯДА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ И ТЯГИ В РДТТ С УТОПЛЕННЫМ СОПЛОМ

Высоцкая С.А., Султанов Т.С.
Научный руководитель: Г.А. Глебов, д.т.н., проф.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Проведено численное исследование пульсирующего режима работы РДТТ с утопленным соплом и звездообразной формой канала заряда. Показано, что такая форма канала заряда по сравнению с исходной гладкой формой позволяет существенно уменьшить пульсации давления в камере сгорания двигателя и тяги.

В работе [1] на основе численного решения уравнений Навье-Стокса показано, что пульсирующее горение в РДТТ сопровождается возникновением интенсивных тороидальных вихрей в проточном тракте камеры сгорания. Отмечается также, что такие вихревые структуры выполняют роль обратной связи для поддержания автоколебаний давления в камере сгорания. Для предотвращения пульсирующего горения в двигателе с утопленным соплом было рассмотрено много различных технических решений. Наибольший эффект дал конфузорный насадок, при установке которого на входе в сопло амплитуда пульсаций давления в камере уменьшилась в 5 раз.

Следует отметить, однако, что конфузорный насадок представляет собой сложное в технологическом плане и дорогостоящее устройство, работающее в условиях высоких дозвуковых скоростей высокотемпературного двухфазного потока. Кроме того, его установка в камере сгорания увеличивает вес готового изделия. Как показано в работе [2] использование звездообразной (многощелевой) формы вместо гладкого круглого канала заряда позволяет исключить возникновение тороидальных вихревых структур и уменьшить вероятность возникновения пульсирующего режима

горения. Следует отметить, что в работах [1, 2] расчет структуры течения и автоколебаний давления производился в двумерной постановке, справедливой для осесимметричного течения.

Расчет нестационарных газодинамических и акустических процессов в камере двигателя той же конструкции, но со звездообразной формой канала заряда влечет определенные трудности. Они связанны с использованием трехмерной модели, и ограничиваются вычислительными мощностями и временными ресурсами. Поэтому для определения влияния звездообразной формы канала заряда на изменение амплитуды пульсаций давления нами был проведен расчет трехмерной модели сектора 1/7 части камеры сгорания на более грубой сетке.

В качестве объекта исследования был выбран двигатель I ступени ракеты 9М83 [3]. Топливом служило металлизированное смесевое твердое топливо, близкое по составу ПХА-4М с содержанием Al ~ 20 % [4].

Термодинамические свойства продуктов сгорания твердого топлива были получены при среднем давлении в камере $P_к$ = 7 МПа в приближении равновесного состава двухфазной смеси: $T_г = T_z$, $U_г = U_z$, где $U_г$, $T_г$ и U_z, T_z, соответственно, скорость и температура газа, и скорость и температура частиц конденсата[5].

Также, как и в работе [1] в качестве граничного условия задавалась продольная стоячая волна давления с частотой f = 330 Гц, определенная в приближении линейной акустики. Амплитуда пульсаций давления в пучностях у переднего и заднего днищ в начальный момент задавалась в $P'(\tau_0) = \pm 0{,}1P_к$. Температура продуктов сгорания в камере -- 3340 К, а скорость звука 1040 м/с.

Расчет структуры течения в камере сгорания штатного двигателя с круглой формой канала заряда был проведен с использованием средств программного пакета ANSYS Fluent, предназначенного для расчета газовой динамики. Для того чтобы выявить в проточном тракте крупные наиболее важные с энергетической точки зрения вихри, принят метод LES (Large Eddy Simulation) с пристеночной функцией WALE (Wall-Adapting Local Eddy-Viscosity). Основные уравнения приведены в [6]. Для создания сетки использовался сеточный генератор ICEM CFD.

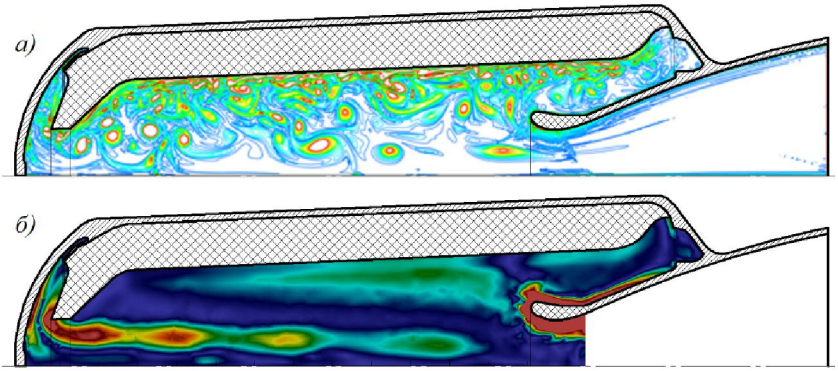


Рис. 1. Поле завихренности в продольном сечении канала заряда τ=0,7 с. а) осесимметричный расчёт на мелкой сетке, б) трёхмерной расчёт на крупной сетке

Расчет структуры течения в камере сгорания штатного двигателя с круглой формой канала заряда был проведен с использованием средств программного пакета ANSYS Fluent, предназначенного для расчета газовой динамики. Для того чтобы выявить в проточном тракте крупные наиболее важные с энергетической точки зрения вихри, принят метод LES (Large Eddy Simulation) с пристеночной функцией WALE (Wall-Adapting Local Eddy-Viscosity). Основные уравнения приведены в [6]. Для создания сетки использовался сеточный генератор ICEM CFD.

Сетка структурированная, размер элемента 0,002 м со сгущением к стенке до 0,0004 м, количество элементов порядка 300000.

Расчет нестационарной структуры течения и акустических автоколебаний давления в канале звездообразной формы был выполнен в программе OpenFOAM с применением вихреразрешающего метода LES WALE. Размер ячейки сетки составлял 0,01 м, количество элементов порядка 100000.

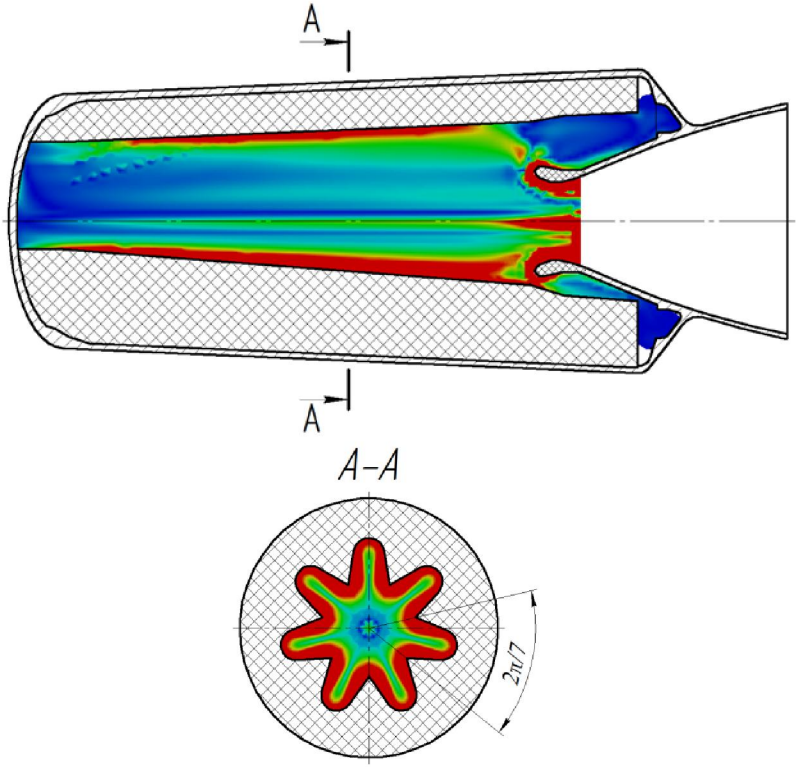


Рис. 1. Поле завихренности в двигателе со звездообразным зарядом

Для сравнения двух представленных методов были проведены расчеты штатного двигателя с гладким каналом по обоим методам (Рис. 1). Второй метод в меньшей степени способен выявить вихревую структуру течения, однако, несмотря на относительно грубую сетку, дает качественно близкую картину течения. На Рис. 2 приведены данные по завихренности, полученные по трехмерной модели для звездообразной формы канала заряда. Видно, что поперечные вихревые структуры не образуются. Заметим, что оба метода позволяют определить мгновенные пространственные поля изменения во времени пульсаций давления, компонент скорости, линий тока, завихренности а также дать наглядное изменение этих параметров в виде видеофильма.

В таблице приведены расчётные данные по пульсациям давления и тяги для штатной камеры, для штатной камеры с конфузорным насадком, полученные на мелкой сетке в осесимметричной постановке, а также для камеры со звездообразной формой канала заряда, полученные на крупной сетке в трехмерной постановке. Хорошо видно, что применение звездообразной формы канала заряда позволяет получить тот же эффект уменьшения пульсаций давления и тяги, что и установка конфузорного насадка.

Для подтверждения данного вывода необходимо выполнить расчет полноразмерной трехмерной модели двигателя на более мелкой сетке. Заметим, что расчеты по трехмерной модели для штатного двигателя с гладким каналом дали несколько заниженные данные по амплитуде пульсаций давления и тяги по сравнению с расчетом по двумерной модели.

Метод	Вариант исполнения	Амплитуда пульсаций давления, %	Амплитуда пульсаций тяги, %
Двумерный расчет	*Штатная камера (гладкий круглый канал заряда)*	7,8	63,5
	Штатная камера с конфузорным насадком (гладкий круглый канал заряда)	1,6	12,8
Трехмерный расчет на грубой сетке	*Камера со звездообразным каналом заряда*	1,5	12,2

Список литературы

1. Глебов Г.А., Высоцкая С.А. Моделирование когерентных вихревых структур и автоколебаний давления в камере сгорания РДТТ//Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». 2016. Вып. №4. С. 18-25.

2. Глебов Г.А., Высоцкая С.А. К вопросу о влиянии геометрии канала заряда и свойств топлива на неустойчивость рабочего процесса в камере сгорания РДТТ //Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». 2017. Вып. №1. С. 8-16.

3. Ельцин С.Н., Анисимов В.Н. Зенитная ракетная система С-300В. Ракета 9М83, устройство и функционирование. Учебное пособие. СПб, БГТУ «Военмех», 2008. – 79 с.

4. Термодинамические и теплофизические свойства твердых ракетных топлив и их продуктов сгорания /Соколов Б.И., Черенков А.С., Соломыков А.И. // Мин-во обороны СССР, 1977. – 316 с.

5. В.Е. Алемасов, А.Ф. Дрегалин, А.П. Тишин. Теория ракетных двигателей. Издание 2-е – М: Машиностроение, 1969. 517 с.

6. ANSYS Documentation/CFX/Reference Guide/12. Best Practices: Scale-Resolving Simulations in ANSYS CFD/ 12.1.3. Large Eddy Simulation (LES).

GRAIN GEOMETRY EFFECT ON PRESSURE OSCILLATIONS IN SOLID FUEL ROCKET ENGINE WITH SUBMERGED NOZZLE

Vysotskaya S., Sultanov T.
Supervisor: G. Glebov, D.Sc., prof.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Numerical calculation of pulsating regime in solid fuel rocket engine with star-shaped grain is performed. Reduction of pressure and thrust oscillations due to grain shape is shown.

УДК 621.45.053.5+ 621.45.053.43+ 536.8

СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПРИ ГЛУБОКОМ ДРОССЕЛИРОВАНИИ ЖРД

Фатихов А.И.
Научный руководитель: Сабирзянов А.Н., к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Представлено краткое описание проблемы глубокого регулирования жидкостных ракетных двигателей. Обоснована причина возникновения внутрикамерной неустойчивости рабочего процесса и рассмотрен способ стабилизации горения в камере сгорания при глубоком дросселировании.

Развитие космонавтики выдвигает всё новые и новые задачи. Изменение траектории ракеты-носителя, регулирование тяги двигателей в моменты посадки, маневрирование космических аппаратов и регулирование перегрузок требует глубокого дросселирования тяги. Целесообразность глубокого гибкого регулирования тяги и соотношения компонентов топлива в широком диапазоне на протяжении всего полёта для различных целей и задач определена в работах [1-3]. Изменение тяги ракетного двигателя заключается в уменьшении расхода топлива и давления в камере сгорания (КС). Для решения подобных задач существует ряд конструкторских идей, обеспечивающие глубокое дросселирование.

Опыт доводки ЖРД показывает, что при некоторых условиях режим работы в КС становится неустойчивым. Известно, что в процессе глубокого дросселирования удаётся снизить тягу до 27...30 % от номинальной величины, ниже которой возникают значительные низкочастотные колебания, т.е. понижение давления в КС ниже допустимого приводит к неустойчивому рабочему процессу. В зависимости от характера неустойчивости возможны аномальные режимы работы. При создании новых двигателей одним из наиболее актуальных аспектов являются вопросы устойчивости рабочего процесса.

Различают низкочастотные и высокочастотные внутрикамерные колебательные процессы, характер и причина возникновения которых различна. Диапазон высокочастотных колебаний варьируется от шестисот герц до нескольких тысяч. При высокочастотной неустойчивости возникают местные колебания давления, что приводит к неоднородности давления и других параметров в данный момент времени по объему КС. При этом высокочастотные колебания практически не влияют на давление подачи, расход компонентов и на время задержки воспламенения. Для низкочастотных колебаний характерным признаком является превышение периода колебаний над временем пребывания продуктов сгорания (ПС) в КС, т.е. колебания давления происходят во всём объеме в камере с частотой от нескольких десятков до нескольких сотен герц. Причины возникновения и поддержания низкочастотных колебаний связаны с наличием времени задержки воспламенения и с динамическими характеристиками элементов системы подачи.

Процесс развития низкочастотных колебаний при взаимодействии с системой подачи актуален в том случае, если в КС уже возникли случайные колебания. Из-за инерционности движения жидкости по трубопроводам и конечной скорости распространения волн давления по ним будут происходить с некоторым запаздыванием по времени по отношению к колебаниям перепада давления на форсунках, что приводит к росту колебательных процессов. Таким образом, можно прийти к выводу, что колебания массового расхода топлива является лишь следствием возникших случайных колебаний, а не причиной.

Время задержки воспламенения $\tau_{\text{п}}$, т.е. время, за которое происходит преобразование элементарной массы топлива с момента поступления в КС через форсунки до его воспламенения, является функцией многих параметров рабочего процесса. Для упрощения сложной зависимости в приближенной теории устойчивости часто используют зависимость $\tau_{\text{п}}$ от $p_{\text{к}}$, предложенной Луиджи Крокко в виде соотношения:

$$p_{\text{к.ср}}^{n} \cdot \tau_{\text{п}} = p_{\text{к0}}^{n} \cdot \tau_{\text{п0}} \ ,$$

где n – показатель взаимодействия колебаний давления в КС со временем сгорания; $p_{к0}$, $\tau_{п0}$ – давление в КС и время преобразования на стационарном режиме; $p_{к.ср}$ – осреднённое давление в КС; $\tau_п$ – время преобразования при давлении $p_{к.ср}$.

В период глубокого дросселирования со спадом давления и температуры в КС $\tau_п$ увеличивается и сопровождается распространением неоднородности и колебаниями объёма (массы) воспламеняемого топлива, давления и других параметров по объёму КС.

Процесс преобразования исходных компонентов, поступающих в камеру через форсунки, сопровождается преобразованием определенного количества энергии. Согласно Л.Крокко, энергия, связанная с процессом преобразования единицы массы компонентов топлива, величина постоянная и не зависит от наличия или отсутствия колебаний давления в камере, т.е. не зависит от размеров и частоты колебания.

Таким образом, можно прийти к выводу, что для стабильного горения или же для поддержания стабильного горения требуется восполнять и обеспечить подвод дополнительной тепловой энергией, воздействующей на элементарные процессы преобразования топлива. Введение дополнительного источника теплового потока позволяет создавать устойчивые условия преобразования топлива не только в зависимости от условий и процессов в камере, но и от внешних условий, чья работа и функционал не зависит от колебаний давления в КС.

Организация подвода дополнительного источника теплового потока возможно с использованием в КС форкамеры (предкамеры). Данное устройство активно используется в ракетных двигателях малой тяги, работающих в импульсном режиме [4]. Однако в данном случае форкамера используется для многократного воспламенения топлива. Форкамеры так же использовались и в двигателях большой тяги, но в качестве воспламенительного устройства, где время работы ограничено лишь периодом запуска двигательной установки и выходом на режим.

Использование форкамеры для подачи дополнительного теплового потока в КС в виде факела на протяжении всего периода работы двигателя, позволит сохранить внутрикамерную устойчи-

вость рабочего процесса в более широком диапазоне регулирования тяги. Такая система позволит реализовать более плавное и равномерное изменение давления в КС в период глубокого дросселирования. Очевидно, что применение форкамеры способствует значительному сокращению $\tau_п$, снабжая свежее не воспламенённое топливо в КС тепловой энергией и препятствуя возбуждению внутрикамерных низкочастотных колебаний. Однако такая форкамера будет отличаться от запальных устройств форкамерного типа геометрией камеры и более сложной системой подачи топлива, которая осуществляется непрерывно. Для оптимальной и согласованной работы форкамеры с основной КС потребуется установка дополнительных агрегатов регулирования расхода топлива.

Наиболее перспективным, как представляется, будет использование форкамеры длительного периода функционирования в ЖРД с системой без дожигания генераторного газа и при работе на несамовоспламеняющихся компонентах.

Список литературы

1. Хорольский П.Г. Оценка баллистической целесообразности применения ракетных двигателей с глубоким дросселированием тяги на первых ступенях ракет-носителей / П.Г. Хорольский // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006.- № 10 (36). – С.30-37.

2. Громыко Б. Перспективная система регулирования жидкостных реактивных двигателей / Б. Громыко, А. Кириллов, В. Кириллов и др./ Двигатель.– 2001.- № 5 (17). – С.28-30.

3. Хорольский П.Г. Оценка эффективности одного варианта применения глубокого гибкого регулирования тяги для выведения полезной нагрузки / П.Г. Хорольский, С.Г. Бондаренко // Вестник двигателестроения. – 2010. - №2. – С.156-158.

4. Камера ракетного двигателя малой тяги (РДМТ), работающего на двухкомпонентном несамовоспламеняющемся газообразном топливе: пат. 2369766 Рос. Федерация: МПК7 F 02 K9/95 / Кочанов А.В., Клименко А.Г.; патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие Исследовательский Центр

имени М.В. Келдыша. - №2008117806/06; заявл. 07.05.2008; опубл. 10.10.2009, Бюл. №28.

THE WAY TO ENSURE A STABLE WORKING PROCESS WITH A DEEP THROTTLING OF A LIQUID ROCKET ENGINE

Fatikhov A.
Supervisor: A. Sabirzyanov, Candidate of Technical Sciences
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

A brief description of the problem of deep regulation of liquid rocket engines is presented. The reason for the onset of intra-chamber instability of the working process is substantiated, and a method for stabilizing combustion in a combustion chamber with deep throttling is considered.

УДК 62-225.864 + 519.6

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ СОПЕЛ

Шакиров Р.Р.
Научный руководитель: Сабирзянов А.Н. к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Конструктивных схем кольцевых сопел при различных режимах нерасчетности. Проведено сравнение тяговой эффективности рассматриваемых сопел. Полученные результаты удовлетворительно согласуются с экспериментальными и расчетными данными. Выбрана и обоснована применяемая модель турбулентности.Выполнено численное моделирование тяговых характеристик ряда.

Сопло ракетного двигателя предназначено для ускорения рабочего тела из камеры сгорания с целью создания тяги. Величина тяги, создаваемая соплом двигателя, характеризуется коэффициентом тяги, и представляет собой произведение давления и площади в критическом сечении. Подразумевая, что рабочее тело в камере сгорания представляет собой адиабатный идеальный газ, расширяющийся в сопле, коэффициент тяги может быть представлен через зависимость рабочих параметров и давление окружающей среды p_∞

$$K_T = \sqrt{\frac{2\gamma^2}{\gamma-1}\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}\left[1-\left(\frac{p_a}{p_0}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}\right]} + (p_a - p_\infty)\frac{F_a}{F_*}, \qquad (1)$$

где γ – показатель адиабаты; p_0 и p_a – давление в камере сгорания и на срезе сопла, соответственно; F_a и F_* – площади поперечного среза сопла и минимального сечения.

Характеристики сопла, определяемые коэффициентом тяги K_T, максимальны при полном расширении, то есть когда давление на срезе сопла равно давлению окружающей среды, что определяет отношение p_0/p_∞. Для сопел Лаваля (рис. 1, а) степень расширения есть величина фиксированная. Это означает, что наилучшая работоспособность двигателя с соплом Лаваля достигается лишь при

одном рабочем давлении окружающей среды. В связи с непрерывным изменением давления окружающей среды в процессе полета летательного аппарата сопло Лаваля не является оптимальным. Несмотря на ряд существенных недостатков кольцевых сопел вопрос исследования применимости кольцевых сопел является актуальным [1] и на данный момент недостаточно изучен.

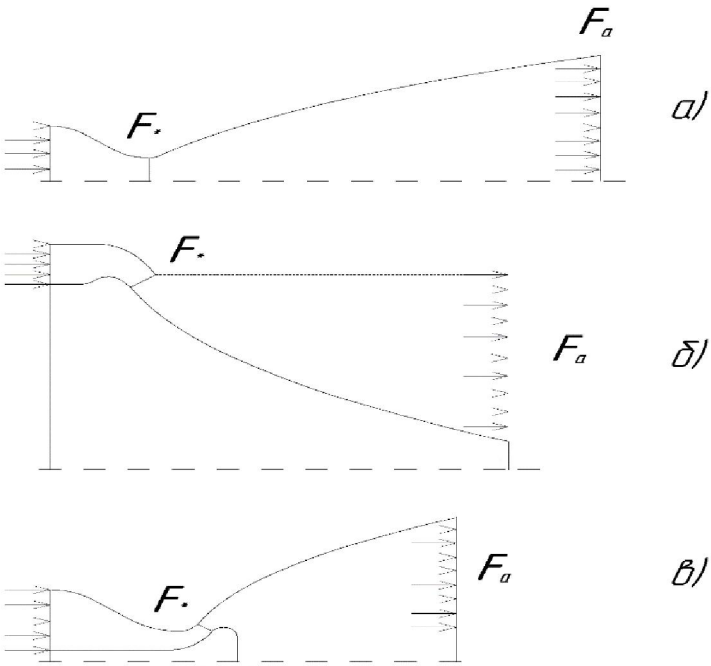


Рис. 1. Типы ракетных сопел:
(а) – Лаваля; (б) – штыревое; (в) – тарельчатое

В качестве примера на рис.1 приведены некоторые конструктивные схемы сопел: сопло Лаваля; сопла, имеющие кольцевое критическое сечение, образованное центральным телом – штырем (штыревое, сопло внешнего расширения) или тарелью (тарельчатое, сопло внутреннего расширения). Кольцевые сопла не имеют четких физических границ и поэтому струя газа, после кольцевого критического сечения за счет серии скачков уплотнений способна

самопроизвольно изменять распределение давления и эффективно авто регулироваться в зависимости от высоты полета, что существенно улучшает энергетические характеристики двигателя. Особенно это актуально для режимов работы на малой высоте полета.

В данной работе выполнен анализ эффективности указанных кольцевых сопел, характерных для ракетных двигателей, путем численного моделирования. Моделирование проведено современными средствами вычислительной гидродинамики пакета ANSYS Fluent, что позволяет достаточно корректно провести оценку совершенства процессов истечения [2]. Исследовалось применимость RANS моделей турбулентности для адекватного описания процессов истечения.

По результатам проведенных расчетов кольцевые сопла ожидаемо имели лучшие тяговые показатели по сравнению с соплом Лаваля. Характер изменения полученных тяговых характеристик хорошо согласуется с данными [3]. Проведенные исследования позволили выбрать наиболее оптимальную модель турбулентности.

Список литературы

1. Алемасов, В.Е Теория ракетных двигателей. [Текст]: учебник для студентов высших технических учебных заведений / В. Е. Алемасов, А. Ф. Дрегалин, А. П. Тишин. – 4-е изд., переработ. – М.: Машиностроение, 1989. – 464 с.

2. Яценко, И.А. Коэффициент истечения торцевого сопла без входного участка/ И.А. Яценко, А. Н. Сабирзянов, В. А. ФАфурин, В. Б. Явкин// Вестник Казан. технол. ун-та – 2014. т. 17, № 8. – С. 112-116.

3. Бачурин, А.Б. Экспериментальные и теоретические исследования особенностей течения в регулируемых соплах с центральным телом / А. Б. Бачурин, А. М Русак, В. А Целищев // Вестник уфимского государственного авиационного университета. – 2009. т. 14, № 5 (40). – С. 52-61.

COMPUTATIONAL SIMULATION OF ANNULAR NOZZLES

Shakirov R.
Supervisor: A. Sabirzyanov, PhD in Engineering sciences
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this paper is performed computational simulation of thrust characteristics of types of annular nozzle configurations under various modes of off-design behavior. The propulsion efficiency of the nozzles under consideration is compared, the results are in satisfactory agreement with the experimental and calculated data. The applied model of turbulence is chosen and justified.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 1. АЭРОМЕХАНИКА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОЧНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ (ПИЛОТИРУЕМЫХ И БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ) 3

ПОДСЕКЦИЯ 1.1. АЭРОДИНАМИКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ 4

MULTI-LEVEL OPTIMIZATION DESIGN OF THE THICK COMPOSITE LAMINATE STRUCTURES CONSIDERING INTERLAMINAR STRESSES
Cao Hua 5

TO THE 30TH ANNIVERSARY OF THE LAUNCH OF THE UNIVERSAL MISSILE TRANSPORT SYSTEM «ENERGIA»
Liu Jun 9

CONCEPTUAL PROJECT OF TRANSPORT SYSTEM FOR LUNAR PROGRAM
Liu Jun, Zhang Cong 13

HEAT TRANSFER ANALYSIS OF CURVED-CREASE FOLDED STRUCTURES UNDER FORCED CONVECTION
Hou T.J. 18

DYNAMICS PROPERTY ANALYSIS OF FLEXIBLE SOLAR ARRAY BASED ON THE DYNAMIC SUBSTRUCTURE METHOD
Yu Han 22

AIRCRAFT WITH AIR-CUSHION CHASSIS: HISTORY, CURRENT STATE AND PROSPECTS
Zhang Cong 26

A BRIEF STRUCTURAL ANALYSIS OF VERTICAL AND HORIZONTAL STABILIZERS WITH DIFFERENTIALLY SET SPLIT RUDDER AND ELEVATOR
Bazuhair M.A. 35

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОМЕНТОВ ОТ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО ОТКЛОНЕННЫХ ДВУХСЕКЦИОННЫХ РУЛЕЙ ВЫСОТЫ И НАПРАВЛЕНИЯ
Базухаир М.А. 41

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЛОПАСТЕЙ ВЕРТОЛЕТА
Головина Е.С. 47

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ
Дурдымурадов А.Б. 53

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОДГРИГА-ГАМИЛЬТОНА В ЗАДАЧЕ ДИНАМИКИ ПОЛЕТА ОДНОВИНТОВОГО ВЕРТОЛЕТА
Едранова О.А. 56

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ШУМА ВИНТА
Канахина В.С. 59

ИССЛЕДОВАНИЕ СТУПЕНЧАТОГО ПРОФИЛЯ КРЫЛА
Крутов Р.Н., Сорокин А.Д., ...65

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ВНЕДРЕНИЯ ФЕНЕСТРОНА ДЛЯ ЛЕГКОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО ВЕРТОЛЕТА
Латыпов Ф.Ф. 70

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕВЫХ ВИХРЕЙ ЗА КРЫЛОМ КОНЕЧНОГО РАЗМАХА
Ледянкин М.А., Степанов Р.П. 73

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ФЮЗЕЛЯЖА ВЕРТОЛЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ДИСКА-АКТУАТОРА
Лопатин Е.А. 79

ДИНАМИЧЕСКИ ПОДОБНАЯ МОДЕЛЬ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА
Салаватов И.И. 83

МОГУТ ЛИ БЕСПИЛОТНЫЕ САМОЛЕТЫ ЗАМЕНИТЬ ПИЛОТИРУЕМЫЕ САМОЛЕТЫ?
Соколова А.А. 88

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В АВИАЦИИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ
Сыромятников А.Д. 92

РАЗРАБОТКА ГЛУШИТЕЛЯ ШУМА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО КЛАПАНА КАМЕРЫ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ
Теляшов Д.А., Суховая Е.А., Ахметшина А.И. 95

МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭТАПЕ ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЭКРАНОПЛАНА
Утенков М.Д. 101

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ КРЫЛА, УПРАВЛЯЕМЫХ И СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА АЭРОДИНАМИКУ САМОЛЕТА
Чипак С.В., Овсеец А.С. 107

ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА

ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЯ В БОРТОВОЙ АППАРАТУРЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И УЧЕТ ИХ В НАДЕЖНОСТИ
Шангина Е.А. 111

ПОДСЕКЦИЯ 1.2. ПРОЧНОСТЬ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ 118

ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THERMAL THIN-WALL STRUCTURE BASED ON SUPER-ELEMENT METHOD
Yuan Xiao....119

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ САМОЛЕТА С ДИСКОВЫМ КРЫЛОМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВОЗМУЩАЮЩИХ СИЛ
Гасилов М.С., Михайлов Т.С., Юсупов Д.М. 122

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ЛОПАСТЬ НВ ВЕРТОЛЕТА – УПРУГАЯ БАЛКА ТОРСИОННОГО ТИПА
Даутов Ф.М., Усольцев А.А. 127

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ С ПЕРФОРИРОВАННЫМИ СТЕНКАМИ ПРИ СОВМЕСТНОМ КРУЧЕНИИ И ИЗГИБЕ
Ковальчук В.К....133

К ВОПРОСУ О НОРМИРОВАНИИ НАГРУЗОК НА ПОЛОЗКОВОЕ ШАССИ ЛЕГКОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО ВЕРТОЛЕТА
Коротков Л.В....138

УТОЧНЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЛОПАСТИ ВЕРТОЛЕТА АНСАТ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧАСТОТНЫХ ИСПЫТАНИЙ
Кузнецов М.Е., Носов Д.А. 143

ДИСКОЛЕТ КАК НОВЫЙ ВИД ГОРОДСКОГО И МЕЖДУГОРОДНЕГО ТРАНСПОРТА
Михайлов Т.С. 148

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СИСТЕМЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ
Михайлюк В.В., Желателева П.А., Губяев М.И. 152

РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ КАК СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
Нестеров К.С., Альмеев Э.И. 158

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ВЕРТОЛЁТА ОТ СКРУЧИВАНИЯ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА ВТУЛКИ НЕСУЩЕГО ВИНТА В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ
Садреев Р.Р., Пантюхин К.Н. 164

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРОПРОЧНОСТИ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ ВЕРТОЛЕТА ТРАНСПОРТНОЙ КАТЕГОРИИ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ПУНКТА 29.952 АВИАЦИОННЫХ ПРАВИЛ АП-29
Саматов А.Р., Югай П.В. 169

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН И РАБОЧИХ КОЛЕС
Сафина Д.М., Ольнева Ю.А. 175

СКЛАДЧАТЫЕ СТРУКТУРЫ С ПЛОСКИМИ ГРАНЯМИ КОНТАКТА
Тимошкин Д.И., Файзуллина Н.М. 180

ПОСТРОЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВАЛА БЕСШАРНИРНОГО НЕСУЩЕГО ВИНТА ОТ ПОЛОЖЕНИЯ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ
Хабибуллин Д.Р., Мухаметшин Т.А., Сафиуллин А.Ф.....184

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИЗГИБНОЙ ЖЕСТКОСТИ БАЛКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ
Хуан Ш. 190

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН РЕГУЛИРОВОК ЭЛЕМЕНТОВ ВЕРТОЛЕТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ЗАДАННЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ВЕЛИЧИНЫ РЕСУРСА
Шакиров М.З.....196

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСКА НА СОЗДАВАЕМУЮ ТЯГУ НЕСУЩЕГО ВИНТА
Юсупов Д.М., Гасилов М.С.....202

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИН И ЛОПАТОК
Юсупова А.Р., Свежинкина А.В. 208

СЕКЦИЯ 2. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ 212

ПОДСЕКЦИЯ 2.1. СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 213

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ И ПАССИВАЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПОДЛОЖЕК
Абдулхаликова К.К. 214

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТАКТИЧЕСКИХ УГЛЕРОДНЫХ ПЕН С ЗАДАННЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ
Антонов Д.О., Чубуков А.И.....217

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ
Антонов Д.О., Шарафутдинов Р.Ф. 223

ИССЛЕДОВАНИЕ БОРИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ
Астрашаб Е.В., Щербаков В.Г.....230

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОРПУСА САМОЛЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ «EDUPACK»
Бобыкин В.В.....235

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЗМА ДЕФОРМАЦИИ НА МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА

Борисов А.А., Сперанский К.А., Юдаев С.В. 241

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ БИПОЛЯРНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РАВНОМЕРНОСТЬ ПОЛИРОВАНИЯ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ
Будницкий А.С., Янович В.А. 248

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
Вагизов Т.Н., Валеева А.Р., Фаткуллин А.Р. 255

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОВОЗВРАЩЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЗ СТЕКЛЯННЫХ МИКРОСФЕР
Вагизов Т.Н., Валеева А.Р., Шаяхметов А.А. 262

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОРПУСА КОНТАКТНОГО СОЕДИНИТЕЛЯ. РЕШЕНИЕ КЕЙС-ЗАДАЧ В КУРСЕ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»
Валиев А.Р., Драницина Е.А....269

КОНВЕРСИЯ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ
Валиев А.Р., Драницина Е.А....275

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ
Габайдуллина К.М. 278

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕЙТРАЛЬНЫХ УПРОЧНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА (α+β)-ТИТАНОВОГО СПЛАВА
Гвоздева О.Н., Умарова О.З., Пожога В.А. 284

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «МАТРИЦА» С РАЗРАБОТКОЙ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ
Губайдуллин Р.Р. 290

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ АРМИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМ ВОЛОКНОМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
Злобина И.В., Мулдашева Г.К., Ерофеева К.Р., Морозов Д.В. 294

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА
Каримова Г.Г. 304

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Колесников Д.Н., Ерахмадов С.Н. 309

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ЛИГАТУР NI-SI_3N_4 ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ
Куц А.В., Ручкина В.С., Кузина А.А. 313

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СМЕШИВАНИЯ НА СВОЙСТВА ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ NI-SI_3N_4
Ручкина В.С., Куц А.В., Кузина А.А. 316

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ В СВАРКЕ
Мухамадеев И.М., Низамов Р.А., Новиков А.В.....319

РАЗРАБОТКА ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАННЫХ МАТЕРИАЛОВ
Низамов А.А.....323

ИССЛЕДОВАНИЕ БОРИРОВАНИЯ СПЛАВОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ
Одарченко В.И., Казначеева Д.А., Щербаков В.Г. 328

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ
Сайфутдинова А.А. 333

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА АНОДИРОВАНИЯ
Салимов Р.Р. 341

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОМОДУЛЬНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА ТЕРМОВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКОЙ
Слезов С.С., Бурнаев А.В., Сафарян А.И. 346

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ АНИЗОТРОПИИ ТЕКСТУРИРОВАННЫХ ЛИСТОВЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ГПУ-СПЛАВОВ
Сперанский К.А., Грушин И.А., Петров А.А. 352

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНО-ДИСПЕРСНОЙ ЭМУЛЬСИИ РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННЫМ АКУСТИЧЕСКИМ АППАРАТОМ
Султанова А.Ф. 358

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА СТРУКТУРУ КЛЕЕВЫХ СЛОЕВ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ
Устинов А.А. 363

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ
Фаткуллин А.Р., Янтыков А.А., Шаяхметов А.А. 368

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ВОЛЛАСТОНИТОМ НА ТВЕРДОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
Хасанова А.Р. 373

РАЗРАБОТКА СПОСОБА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ
Шарафутдинов Р.Ф., Янтыков А.А. 377

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНОГО ПОРШНЕВОГО ПНЕВМОДВИГАТЕЛЯ
Хабаров А.Е. 384

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА РОБОТА
Цыкунова Е.Е. 388

ПОДСЕКЦИЯ 2.2. ТЕХНОЛОГИЯ АВИАСТРОЕНИЯ И КОМПОЗИТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО 392

ANALYSIS OF KINETIC FEATURES OF CURING IN EPOXY ANHYDRIDE BINDERS FOR GLASS REINFORCED PLASTICS
Zalyalova G. 393

THE DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR MONITORING THE CURING OF RESPONSIBLE COMPOSITE STRUCTURES BASED ON DIELECTRIC ANALYSIS
Logacheva A. 396

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИПРОПИЛЕНА АРМИРОВАННОГО СТЕКЛОТКАНЬЮ
Балькаев Д.А., Скрябнев Г.В., Беззаметнов О.Н. 399

УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ ДИСПЕРСНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ
Гафиятуллина С.И., Ибатуллин И.М., Камалов А.Н. 403

ВЛИЯНИЯ ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЯ НА РАЗВИТИЕ МИКРОТРЕЩИН В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ С РАЗЛИЧНЫМ АРМИРОВАНИЕМ
Дмитриев С.А., Хамидуллин О.Л. 406

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА ОБЪЕМНОГО НАПОЛНЕНИЯ В ЗОНАХ СО СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ
Дмитриев С.А., Хамидуллин ОЛ. 411

ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФОНИЕВЫХ СОЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭПОКСИАНГИДРИДНЫХ ПРЕПРЕГОВ С ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ОТВЕРЖДЕНИЯ
Залялова Г.М., Хамидуллин О.Л. 414

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ
Нуртдинов А.С., Ковалев В.В., Сунгатуллин Р.Н. 419

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВЯЗУЮЩИХ В ВИДЕ ПЛЕНКИ
Петрунина Е.С., Хафизов В.А. 423

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В АВИАСТРОЕНИИ
Черноглазов П.А. 426

ПОДСЕКЦИЯ 2.3. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВИА- И МАШИНОСТРОЕНИЯ 431

ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
Валиев А.И. 432

К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ИМПУЛЬСНОГО ПОЛЯ ВЫСОКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СПЛАВА Д16Т
Мавлетбаева Р.Р. 438

ПРОЦЕСС СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ КЛИНЧЕВАНИЯ СО ВСТАВКОЙ
Сосова Н.А. 444

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ
Раздрогов Е.А. 448

ПОДСЕКЦИЯ 2.4. ЛАЗЕРНЫЕ, ПЛАЗМЕННЫЕ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 450

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ИЗ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ
Амирзянов И.И. 451

ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ КОЛЬЦА СТАТОРА
Ахунов Д.Ф., Шакиров А.Ш., Шакирзянов И.Р. 456

ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППЫ ЖЕЛЕЗА В СТЕКЛЕ
Бакиев И.И.....460

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА НА ПОЛИМЕРЫ
Белавин А.Ю. Зарипов И.М., Гарифуллин Б.И.....464

ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЯ ИЗ МЕДИ
Бельгибаев Э.Р., Галиев И.А., Шайдуллин А.И.....467

ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ РЕЗКА
Бельгибаев Э.Р., Шайдуллин А.И. 470

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ ПРИ АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ
Большаков П.В.....473

РАСПЫЛЕНИЕ ЖИДКОГО КАТОДА В МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ
Булычев В.С. 476

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА В ДВУМЕРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ
Валиахметова В.Д. 482

ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРА НА КАЧЕСТВО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ
Вулпе М.Н., Иутин Р.В., Морушкин А.Е. 487

СВОЙСТВА ПОРОШКА ПОЛУЧЕННОГО ИЗ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВОВ МЕТАЛЛА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА
Гарифуллин Б.И., Зарипов И.М., Белавин А.Ю. 493

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ ИЗ СПЛАВА TI-6AL-4V, ПОЛУЧЕННЫХ ПУТЕМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ
Герман М.А., Мамонтова Н.А., Кавченко Е.В. 496

СРАВНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ И ЛАЗЕРНО-ДУГОВОЙ ВИДОВ СВАРКИ В ОБЛАСТИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Гирфанова А.Г., Вулпе М.Н. 502

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКА НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ОЛОВЯНИСТЫХ БРОНЗ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ
Горунов А.И., Зимин А.Г., Гайсина А.Р. 507

ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ОЛОВЯНИСТЫХ БРОНЗ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО НАНЕСЕНИЯ
Горунов А.И., Зимин А.Г., Измаилов И.И. 512

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДНОГО ПОРОШКА С ЖИДКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ
Зарипов И.М., Белавин А.Ю., Гарифуллин Б.И. 514

ЛАЗЕРНАЯ И ЛАЗЕРНО-ДУГОВАЯ СВАРКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ
Колесников Д.Н., Гирфанова А.Г. 517

МЕТОД МОНТАЖА ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПОДОШВЫ КИЛЯ САМОЛЕТА ОТНОСИТЕЛЬНО РАБОЧЕЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ СТАНКА С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОЙ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
Комкова М.А. 522

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Крылов Д.В. 529

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА С ПОРИСТЫМ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ АНОДОМ
Леушка М.А. 534

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РАЗРЯДАМИ
Лукьянов С.А., Ахатов М.Ф. 537

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ С УЧЁТОМ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ
Мельников А.С. 539

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗОНЕ ГОРЕНИЯ РАЗРЯДА С ЖИДКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ
Нагорнова Д.В. 547

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 20 ИМПУЛЬСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА
Пегасина А.В., Шепелев А.Е. 549

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДНОГО СЛОЯ АЛЮМИНИЯ ПОЛУЧЕННОГО ПРИ ПОМОЩИ ОКСИДИРОВАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫМ РАЗРЯДОМ
Петряков С.Ю., Гайсин Аз.Ф. 553

СТОЙКОСТЬ ТИТАНА И НИТРИДА ТИТАНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОННОГО ПОТОКА АЗОТА
Рязанов В.А. 557

ПРЕИМУЩЕСТВА ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОЛЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА ПО СРАВНЕНИЮ С ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ
Сергиенко П.В., Нургалиева Р.Р. 564

ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД МЕЖДУ СТАЛЬНЫМ АНОДОМ И ЖИДКИМ КАТОДОМ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ
Сергиенко П.В., Нургалиева Р.Р., Уразов А.Н.....567

ПОДСЕКЦИЯ 2.5. ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....570

ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
Анисовец Н.В., Асадчая В.А., Козловский Я.Ю. 571

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ МИКРОРАЙОНА ШЛЮЗОВОЙ Г.О. ТОЛЬЯТТИ
Бану В.А. 576

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ИОНООБМЕННОГО ФИЛЬТРА – МИНЕРАЛИЗАТОРА И ФИЛЬТРО-МИНЕРАЛИЗАЦИОННЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ

ПОЛНОЦЕННОСТИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ
Габдрахманова Г.Н. 579

СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ МУСОРОСЖИГАТЕЛЬНОГО ЗАВОДА
Гидиятуллина И.И. 583

ГАЗОВЫЙ ХРОМАТОГРАФ КАК ПРИБОР КОНТРОЛЯ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ
Гуслярова О.А. 588

МЕТОД ФЛОТАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ
Гуслярова О.А. 592

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД
Закирова Л.И. 597

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫБОРА МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА
Ищук Д.В., Горина Л.Н. 601

СИСТЕМА ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ ОТ ОКСИДОВ АЗОТА
Казанцева О.П. 612

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
Кузнецова Ю.Н., Денисова А.Е. 618

РАЦИОНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ
Лисин Р.А, Бурова И.Д. 621

СИСТЕМА БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Лотфуллина Э.Р. 623

СТРУКТУРА ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА НА ТЕРРИТОРИИ Г. НИЖНЕКАМСК И Г. КАЗАНЬ
Магдеева А.Р., Шагидуллин А.Р., Гилязова А.Ф. 629

О РАЗЛОЖЕНИИ БЕЛОГО ФОСФОРА МИКРООРГАНИЗМАМИ
Миндубаев А.З., Сахапов И.Ф. 635

ЭКОЛОГИЧНОСТЬ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В ЖКХ
Минсафин Р.Р. 642

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЛЬТРА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД БАССЕЙНА
Мирхайдаров А.Ф. 646

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ВОД БАССЕЙНА (ОБЗОР)
Мирхайдаров А.Ф. 650

СИСТЕМА ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В ЗОНЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
Назмутдинова Н.М. 654

СИСТЕМА ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ ОТ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ
Нурмухаметова А.А. 660

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ
Паничев М.В. 664

ПРИМЕР УТИЛИЗАЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА
Тишаков А.А. 669

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ
Чивелёва М.Д. 674

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В УРБОЭКОСИСТЕМЕ С ПОМОЩЬЮ КАЧЕСТВЕННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОТВЕТА СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА
Шагидуллин А.Р. 680

РАСЧЕТ ТЕРМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАЗОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА С ФОСФОАМИНОКИСЛОТНЫМИ ГЛИЦЕРИДАМИ В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ
Шакиров К.М. 684

ПОДСЕКЦИЯ 2.6. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ....688

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОСРЕДСВОМ УПРАВЛЕНИЯ «БАНКОМ ИДЕЙ»
Абзгильдин Д.А. 689

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
Барабанова В.В., Садриева Е.Ф. 695

РОЛЬ ЧЕТВЕРТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ В РОССИИ И В МИРЕ
Габитов Э.И., Шарипов А.Р. 704

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС И ПРИНЦИПЫ ЕГО ОРГАНИЗАЦИИ
Комина А.А. 710

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ПРЕДПРИЯТИЯ
Комина А.А. 716

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ 5S НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ
Кочерышкина Э.Г. 720

ВНЕДРЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА УЧАСТКЕ ВНЕСТАПЕЛЬНОЙ СБОРКИ
Романова А.Н. 727

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА
Русскова Г.А. 732

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧИХ НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ 5S
Сарбаева А.А., Кадырова Д.Р., Сафиуллова Р.Ш. 736

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ
Семенова Г.С., Кадырова Д.Р., Аханова О.В. 742

МЕТОДИКА ВНЕДРЕНИЯ БЫСТРОЙ ПЕРЕНАЛАДКИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ
Сибагатуллина Л.И. 748

БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО – ОСНОВА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ
Стрижко Т.А., Мусина И.Р. 754

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ СТИМУЛИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ В РОССИИ
Шамсиева Л.А. 760

СЕКЦИЯ 3. ТЕПЛОТЕХНИКА, ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ 766

ПОДСЕКЦИЯ 3.1. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ И ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ 767

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ В ТОПКЕ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА ПРИ ПРОДУВКЕ ХОЛОДНЫМ ВОЗДУХОМ
Ахметшина А.И. 768

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВСКИПАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ
Ахунов А.А. 774

АНАЛИЗ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ НА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКЕ
Бадриев А.И., Власов С.М. 780

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОРШНЕВОГО АВИАДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ЕГО 1D МОДЕЛИ
Хисматуллин Р.М., Березин В.В. 785

МЕТОДЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ
Березин В.В., Хисматуллин Р.М. 790

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ И НЕКОТОРЫХ ФРЕОНОВ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ И ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ
Болдырев А.В., Карелин Д.Л., Мулюкин В.Л. 794

РЕГЕНЕРАТИВНО-УТИЛИЗАЦИОННОЕ ТЕПЛОИСПОЛЬЗОВАНИЕ В НЕПРОХОДНЫХ КАНАЛАХ ТЕПЛОТРАСС
Бубырь Т.В. 801

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННОГО ОБЪЕКТА
Васильев Д.А. 807

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАГИРУЮЩИХ ГАЗОУГОЛЬНЫХ ТЕЧЕНИЙ В УСТАНОВКАХ ПОНИЖЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ
Гасилин В.В. 813

ОСОБЕННОСТИ ОБТЕКАНИЯ ДИФФУЗОРНЫХ ВЫЕМОК ОТРЫВНОГО ТИПА
Гирфанов А.М., Хабибуллин И.И., Зарипов И.Ш. 819

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ
Дурдымурадов А.Б. 825

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
Епифанова А.С., Кандакова Е.А. 827

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ
Закиров Т.Р., Закиров Р.Р. 832

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИНЕРАЛОВАТНОЙ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ
Закирова И.А. 838

ТЕПЛООТДАЧА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ОХЛАЖДЕНИИ ВХОДНОЙ КРОМКИ ТУРБИННОЙ ЛОПАТКИ
Зарипов Е.Д., Иванов С.Н., Ерзиков А.М. 842

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ГАЗООБРАЗНОМ МЕТАНЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ И ЭНЕРГОУСТАНОВОК НАЗЕМНОГО, ВОЗДУШНОГО, АЭРОКОСМИЧЕСКОГО И КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ
Коханова Ю.С., Куимов Е.С. 847

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ ЗА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ СТАБИЛИЗАТОРОМ ПЛАМЕНИ
Ли Цзывань, Юсеф В.М. 852

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЯ ЗА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ СТАБИЛИЗАТОРОМ ПЛАМЕНИ
Ли Цзывань, Юсеф В.М. 858

ОПТИМИЗАЦИЯ КАМЕРЫ СМЕШЕНИЯ ГОЗОГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
Марьин Ю.М. 864

РАЗРАБОТКА ДВУХСТУПЕНЧАТОГО БЕЗСОПЛОВОГО ГАЗОГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА
Марьин Ю.М. 867

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКА GeTe B
Мухаммадалии Курбонали, Собиров Джурабой Файзалиевич, Хусайнов Зубайдулло Курбоналиевич 871

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНОГО ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА В ПРОГРАММНОМ МОДУЛЕ ANSYS FLUENT
Москвитина А.Д. 878

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНО КОРОТКИХ ТРУБ С ЗАКРУЧЕННЫМИ ЛЕНТОЧНЫМИ ВСТАВКАМИ
Мулюкова Э.Р. 884

ТЕРМОХИМИЧЕСКОЕ АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ОТХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ
Мустафин Р.М., Карпилов И.Д..... 890

АНАЛИЗ РАБОТЫ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ
Нгуен Тхэ Дат 896

МЕТОДИКА И УСТАНОВКА ДЛЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДЫХ СМАЗОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ
Николаев И.А. 904

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООТДАЧИ В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Николаева Д.В.....910

РАСЧЕТ НАГРЕВА ТОПЛИВА В ТОПЛИВОМАСЛЯНОМ РЕГУЛЯТОРЕ ТРД
Нуждин А.А. 916

РАЗРАБОТКА ИНЖЕКЦИОННОЙ ГОРЕЛКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТЫХ РАБОТ
Осипова А.А., Накоряков П.В., Ситников О.Р. 922

СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО СУДНА
Приказчиков Е.А.....927

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ ЗА ПОЛУСФЕРИЧЕСКОЙ ВЫЕМКОЙ ПРИ ВЫДУВЕ ИЗ НЕЕ ВОЗДУХА
Рыбаков А.С., Ерзиков А.М., Иванов С.Н.....930

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННОГО ОБЪЕКТА
Садреев И.М.....936

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОЛОЧЕК ГТД И РАСЧЕТ ТЕПЛООТДАЧИ
Сверчков А.С. 942

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ АВИАЦИОННЫХ ГТД
Сверчков А.С. 948

ОПЫТЫ С ТЕПЛОВОЙ АВТОГЕНЕРАЦИЕЙ ЗВУКА
Севастьянов Н.Д. 954

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООТДАЧИ ДВУХРЯДНЫХ ПУЧКОВ ВОЗДУХООХЛАЖДАЕМЫХ
Сидорик Г.С. 961

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕЧЕНИЙ В ВЫЕМКАХ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ
Степанов А.С., Ахметшин Р.И., Зарипов И.Ш. 968

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ТУРБОНАДДУВА
Суламанидзе А.Г., Яковлев М.М. 974

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБОКОПРЕССОРА
Яковлев М.М., Суламанидзе А.Г. 979

РАЗРАБОТКА ГЛУШИТЕЛЯ ШУМА ДВС МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТАМ
Суховая Е.А., Теляшов Д.А., Никитин М.А.....982

УСТАНОВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ УПРАВЛЯЮЩИХ ФАКТОРОВ – МЕСТА И УГЛА ПОДАЧИ ТОПЛИВА ПЕРЕД СТАБИЛИЗАТОРОМ ПЛАМЕНИ ФОРСАЖНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ С БАЗОВЫМИ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ
Тесля Д.Н.....988

ТЕЧЕНИЕ ГАЗОВЗВЕСИ В КАНАЛЕ ИЗ СООСНЫХ ЦИЛИНДРОВ
Тукмакова Н.А. 991

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЭЖЕКТОРОВ
Халиулин Р.Р., Семичев С.А. 998

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХФАЗНОГО, ПЛОСКОГО ЭЖЕКТОРА С ПОПЕРЕЧНЫМ ПОДВОДОМ ВОЗДУХА
Халиулин Р.Р.....1002

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В МИРЕ
Хаустов Д.А., Дегтярев Л.В.....1005

ПОСТРОЕНИЕ ИЗОТЕРМ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ С ПОЛЯРНЫМИ И НЕПОЛЯРНЫМИ МОЛЕКУЛАМИ
Чибирев П.А., Ахунов А.А. 1010

ТЕПЛООТДАЧА ОТНОСИТЕЛЬНО КОРОТКИХ ТРУБ С ЗАКРУЧЕННЫМИ ЛЕНТОЧНЫМИ ВСТАВКАМИ
Шайдуллин Р.А. 1014

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ В ПРОТИВОТОЧНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ
Юсеф В.М., Давыдов Н.В. 1019

ПРОТИВОТОЧНОЕ ФРОНТОВОЕ УСТРОЙСТВО КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД
Юсеф В.М., Мухаметгалиев Т.Х. 1025

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ БОРЬБЫ С ОСАДКООБРАЗОВАНИЕМ В СИСТЕМАХ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЕЙ И ЭНЕРГОУСТАНОВОК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НАЗЕМНОГО, ВОЗДУШНОГО И АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ
Юсупов А.А. 1031

ПОДСЕКЦИЯ 3.2. РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ В РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ 1036

КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ РОТОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ЖРД
Багаутдинов А.Р., Филиппов А.А. 1037

ПЛАНИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ ШНЕКОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА И ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
Беляева Н.В. 1043

СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ЖРД НА КОМПОНЕНТАХ ТОПЛИВА КИСЛОРОД-ВОДОРОД И КИСЛОРОД-МЕТАН
Беляков В.А., Василевский Д.О. 1050

ЛАЗЕРНЫЙ РАКЕТНЫЙ ТЕПЛОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ МИКРО- И НАНОСПУТНИКОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ
Бикмучев А.Р., Сочнев А.В. 1055

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ГИБРИДНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ
Будин А.Г., Позолотин А.П., Зырянов И.А. 1059

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ТЯГУ ГРД ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КАЧЕСТВЕ ТВЕРДОГО КОМПОНЕНТА ТОПЛИВА ПОЛИАМИДА 6
Будин А.Г., Позолотин А.П., Зырянов И.А. 1065

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ БЕЗГЕНЕРАТОРНОГО ЖРД НА КОМПОНЕНТАХ КИСЛОРОД – ВОДОРОД
Василевский Д.О., Беляков В.А. 1070

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ РАСХОДА РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ
Кириллова А.Н. 1076

ОЦЕНКА РИСКА НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССОВ СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВА В РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ
Мокшин И.А., Румянцева П.О. 1081

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В КАМЕРЕ ЖРД И ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ КАМЕРЫ ДВИГАТЕЛЯ РД-161П
Пахомов А.К. 1086

СОКРАЩЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ РЕАКЦИЙ КОМБИНАЦИЕЙ МЕТОДОВ DRGEP
Сафиуллин И.И. 1093

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ КАНАЛА ЗАРЯДА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ И ТЯГИ В РДТТ С УТОПЛЕННЫМ СОПЛОМ
Высоцкая С.А., Султанов Т.С 1100

СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПРИ ГЛУБОКОМ ДРОССЕЛИРОВАНИИ ЖРД
Фатихов А.И. 1106

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ СОПЕЛ
Шакиров Р.Р. 1111

МАТЕРИАЛЫ СЕКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНЫ ПО ТОМАМ В СЛЕДУЮЩЕМ ПОРЯДКЕ:

ТОМ 1.

СЕКЦИЯ 1. 3
ПОДСЕКЦИЯ 1.1. 4
ПОДСЕКЦИЯ 1.2. 118
СЕКЦИЯ 2. 212
ПОДСЕКЦИЯ 2.1. 213
ПОДСЕКЦИЯ 2.2. 392
ПОДСЕКЦИЯ 2.4. 450
ПОДСЕКЦИЯ 2.5. 570
ПОДСЕКЦИЯ 2.6. 688
СЕКЦИЯ 3. 766
ПОДСЕКЦИЯ 3.1. 767
ПОДСЕКЦИЯ 3.2. 1036

ТОМ 2.

СЕКЦИЯ 4. 3
ПОДСЕКЦИЯ 4.1. 4
ПОДСЕКЦИЯ 4.2. 98
ПОДСЕКЦИЯ 4.3. 165
ПОДСЕКЦИЯ 4.4. 233
ПОДСЕКЦИЯ 4.5. 293
СЕКЦИЯ 5. 407
ПОДСЕКЦИЯ 5.1. 408
ПОДСЕКЦИЯ 5.2. 455
ПОДСЕКЦИЯ 5.3. 603

ТОМ 3.

СЕКЦИЯ 5 (продолжение). 3
ПОДСЕКЦИЯ 5.4. 3
ПОДСЕКЦИЯ 5.5. 75
ПОДСЕКЦИЯ 5.6. 137
ПОДСЕКЦИЯ 5.7. 178
СЕКЦИЯ 6. 269
ПОДСЕКЦИЯ 6.1. 270
ПОДСЕКЦИЯ 6.2. 402
ПОДСЕКЦИЯ 6.3. 640

ТОМ 3.

СЕКЦИЯ 7. 3
ПОДСЕКЦИЯ 7.1. 4
ПОДСЕКЦИЯ 7.2. 196
ПОДСЕКЦИЯ 7.3. 260
ПОДСЕКЦИЯ 7.4. 412
ПОДСЕКЦИЯ 7.5. 606
ПОДСЕКЦИЯ 7.7. 684

Международная молодежная научная конференция «XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (школа молодых ученых)»

ТОМ I

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

ISBN 978-5-9690-0393-4

Подписано в печать 03.11.2017. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 66,6. Тираж 30 экз. Заказ 03.11/17-1.

Издательство Академии наук РТ.
420111, г. Казань, ул. Баумана, 20.