Министерство науки и высшего образования РФ
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ)

Международная молодежная научная конференция

«XXIV ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (школа молодых ученых)»



ТОМ II

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

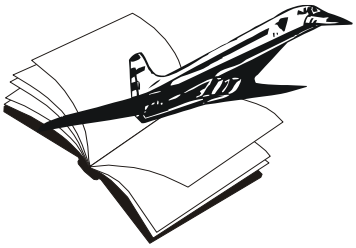
Казань 2019

Министерство науки и высшего образования РФ

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

Международная молодежная научная конференция

«XXIV ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (школа молодых ученых)»



ТОМ II

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

Казань 2019

УДК 629.7(082)
ББК 39.5Я43
Д 22

Д 22 XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, 7–8 ноября 2019 года: Материалы конференции. Сборник докладов. – В 6 т.; Т. 2. – Казань: изд-во ИП Сагиева А.Р., 2019. – 567 с.: ил.

ISBN 978-5-6043565-1-7
ISBN 978-5-6043565-3-1

В сборнике представлены тексты докладов участников Международной молодёжной научной конференции «XXIV 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.

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

Редакционная коллегия:
Аникин И.В. доктор технических наук, доцент; **Беляев В.А.** доктор политических наук, профессор **Вершинин И.С.** кандидат технических наук, доцент; **Гайнутдинов В.Г.** доктор технических наук, профессор; **Галимов Ф.М.**, доктор технических наук, профессор; **Галимов Э.Р.** доктор технических наук, профессор; **Гатауллина И.А.** доктор исторических наук, доцент; **Гильмутдинов А.Х.** доктор физико-математических наук, профессор; **Гортышов Ю.Ф.** доктор технических наук, профессор; **Евдокимов Ю.К.** доктор технических наук, профессор; **Зайдуллин С.С.** кандидат технических наук, доцент; **Карамов Ф.А.** доктор технических наук, профессор; **Костин В.А.** доктор технических наук, профессор; **Маливанов Н.Н.** доктор педагогических наук, доцент; **Мингалеев Г.Ф.** доктор экономических наук, профессор; **Михайлов С.А.** доктор технических наук, профессор; **Морозов О.Г.** доктор технических наук, профессор; **Муравьева Е.В.** доктор педагогических наук, профессор; **Надеев А.Ф.** доктор физико-математических наук, профессор; **Павлычева Н.К.** доктор технических наук, профессор; **Саитов И.Х.** доктор физико-математических наук, профессор; **Саттаров А.Г.** доктор технических наук, профессор; **Сидоров И.Н.** доктор физико-математических наук, доцент; **Сиразетдинов Р.Т.** доктор технических наук, доцент; **Солдаткин В.М.**, доктор технических наук, профессор; **Солодухо Н.М.** доктор философских наук, профессор; **Тимеркаев Б.А.** доктор физико-математических наук, профессор; **Тунакова Ю.А.** доктор химических наук, профессор; **Файзуллин Р.Р.** доктор технических наук, профессор; **Ференец А.В.** кандидат технических наук, старший научный сотрудник; **Хасанова А.Ш.** доктор экономических наук, профессор; **Халиулин В.И.** доктор технических наук, профессор; **Чермошенцев С.Ф.** доктор технических наук, профессор; **Шлеймович М.П.** кандидат технических наук, доцент, **Яхина Р.Р.** кандидат филологических наук, доцент.

ISBN 978-5-6043565-1-7
ISBN 978-5-6043565-3-1

© Авторы докладов, 2019
© Оформление.
Изд-во ИП Сагиева А.Р., 2019

СЕКЦИЯ 2

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ПОДСЕКЦИЯ 2.4

НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ

УДК 621.793.

ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРАДИЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ТИТАНА МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Абанина Д.Д.
abaninadd@gmail.com
Научный руководитель: А.И. Горунов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В настоящей работе рассмотрено получение функциональных градиентных материалов на основе титана методом лазерной наплавки. Проанализированы результаты исследований по улучшению состава покрытия, рассмотрены новые технологии нанесения материала, сделаны выводы о преимуществах и недостатках новых методов, даны рекомендации по практическому приложению.

1. Введение

Лазерная наплавка – способ реконструкции поврежденных или изношенных деталей, а также улучшения прочностных показателей деталей механизмов. Лазерная наплавка была тщательно исследована как передовая технология ремонта и упрочнения. Процесс заключается в нанесении расплавленного материала на поверхность изделия. Применение лазера обеспечивает высокую точность проводимого процесса, плотную структуру наносимого слоя, а также высокую степень адгезии. Технология заключается в подаче газопорошкового состава (по бокам от сопла лазера) в область сварочной ванны.

Покрытия на основе титана используются для изготовления покрытий с повышенной износостойкостью, стойкостью к температурному окислению, хорошей медицинской биосовместимостью.

В статье описаны параметры и свойства технологии, ее преимущества и недостатки, а также описана область приложения на базе исследования англоязычного сектора научной литературы, посвященного данной теме.

2. Анализ литературы по теме

На англоязычном ресурсе научной литературы sciencedirect.com были проанализированы работы по вышеназванному технологии получения градиентных покрытий. Материалы, описывающие технологию получения градиентных покрытий методом лазерной наплавки:

В патенте [1] предложен способ формирования функционально-градиентного покрытия селективной лазерной наплавкой. Данный метод позволяет добиться наилучшего сочетания адгезионной и когезионной прочностей. Необходимым условием для обеспечения связи между слоями является разность коэффициентов термического расширения (КТР) не более, чем на 20%. Исходя из этого, постепенное изменение КТР по толщине, что, в свою очередь, предотвращает появление остаточных термических расширений. В результате получаем поверхностный слой, обладающий высокими прочностью и износостойкостью в условиях сильных механических и термических воздействий. В статье [2] рассмотрено нанесение интерметаллического покрытия Ni-Ti для улучшения стойкости поверхности к окислению. В статье анализируется процедура затвердевания градиентного покрытия и процессы, происходящие в процессе затвердевании при рассеянии тепла во время лазерной наплавки. В статье [3] исследована технология лазерной наплавки с предварительным нанесением порошков Ti-6Al-4V/WC на поверхность. Результаты показали, что подготовленная таким образом поверхность обладает лучшими прочностными качествами, нежели обработанная чистым ванадиевым порошком. Поскольку распределение WC становится более равномерным, морфология покрытия более гладкое, микротвердость распределяется однородно. В статье [4] рассмотрена одна из попыток изготовления функционально-градиентных материалов из Ti/HA методом селективной лазерной наплавки. В статье [5] исследуется использование волоконного лазера высокой мощности для синтеза композитного покрытия на основе Ti/HA на поверхности TiNi биомедицинского качества

посредством лазерной наплавки и легирования. Обнаружено, что титан-гидроксиапатитовое покрытие может служить одним из перспективных в качестве покрытия нитиноловых имплантов, препятствующим высвобождению никеля. В статье [6] рассматривается процесс изготовления градиентного покрытия TiB_2/TiB методом лазерной наплавки на поверхности подложки Ti-6Al-4V. Микроструктура и механические свойства покрытия были исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа, рентгеноструктурного анализа, просвечивающего электронного микроскопа и твердомера.

Материалы, описывающие изменение микроструктуры покрытия при содержании соответствующего количества различных добавок.

В статье [7] изучено изменение морфологии фазы покрытия TiC при добавлении CeO_2. Соответствующее количество CeO_2 может устранить трещины вида «елочка» и улучшить качество поверхности покрытия, добавка может оказать незначительное влияние на фазовый состав, при этом заметно улучшаются микроструктура, микротвердость и устойчивость покрытий к износу. В статье [8] рассмотрена обработка поверхности ортопедического импланта (Ti-6Al-4V) градиентным материалом TiO_2-HA методом лазерной наплавки. В результате сравнительного анализа, обработанная поверхность имела большую адсорбцию белка и клеточную адгезию. Иными словами, процесс нанесения градиентного покрытия лазерной наплавкой улучшил биосовместимость и биологическую активность Ti-6Al-4V. В статье [9] рассмотрено изменение микроструктруры покрытия при добавлении некоторого количества LaB_6 в композиты (Ti_3Al+TiB)/Ti. При добавлении 3,0% LaB_6 улучшаются микроструктура и износостойкость покрытия. Чрезмерное добавление LaB_6 влекло за собой негативный эффект - образование кластеров. В статье [10] исследованы микроструктура и свойства композицинного покрытия Cu/TiB_2 из соответствующих чистых порошков на стали H13. Результаты показали, что полученное с помощью лазерной наплавки покрытие улучшает свойства трения и повышает износостойкость стали H13 и может применяться для изготовления пресс-форм и штампов, изготавливаемым под высоким давлением. В статье [11] проведено исследование четырех градиентных покрытий. Результаты показали, что содержание титана сильно влияло на микротвердость и износостойкость литых WC/W_2C покрытий и сферических армированных карбидовольфрамовых покрытий на основе никеля.

В статье [12] кратко представлены последние разработки в области лазерной наплавки для функциональных покрытий с высокой стойкостью к износу, окислению, коррозии и лучшей медицинской биосовместимостью. Кроме того, обсуждены существующие проблемы и их решения, прогнозируются тенденции будущего развития технологии.

Материалы, содержащие изучение взаимосвязи характеристик лазерного излучения и параметров получаемого покрытия.

В статье [13] исследуется зависимость характеристик покрытий от параметров процесса лазерной наплавки (мощность лазера, скорость сканирования, предварительно нанесенная толщина порошка, диаметр лазерного пятна, коэффициент перекрытия нескольких дорожек). Результаты показали, что наиболее важными параметрами процесса являются предварительно нанесенная толщина порошка, мощность лазера и диаметр лазерного пятна. Данная работа дает рекомендации по выбору параметров процесса лазерной наплавки для получения высококачественных покрытий с использованием керамического порошка наночастиц TiC в качестве исходного материала В статье [14] рассмотрены результаты экспериментальных исследований при предварительном нанесении порошковой смеси B_4C, hBN и Ti на подложку Ti-6Al-4V и ее последующее облучение лазером. При определенных скоростях сканирования достигалась высокая твердость около 2200 HV. Испытания на износ при сухом скольжении показали очень низкий коэффициент трения для покрытий от 0,1 до 0,16. Также освещены проблемы, возникающие при разработке покрытий методом лазерной наплавки. В статье [15] приведен процесс нанесения покрытия на основе Co и смеси Ti_3SiC_2 с целью повышения износостойкости стали 35CrMo. Фазовый состав, микроструктура, микротвердость и износостойкость покрытий с различным содержанием Ti_3SiC были исследованы с помощью рентгеноструктурного анализа, сканирующего электронного

микроскопа, микротвердомера и измерителя износа на трение. Результаты показали, что при соответствующих параметрах лазерной обработки могут быть получены покрытия без трещин и пористости с удовлетворяющим сцеплением с подложкой. Покрытия состояли из γ-Co, Ti_3SiC_2, Cr_7C_3, TiC. В процессе плакирования Ti_3SiC_2 частично растворяется с образованием TiC. Микротвердость, износостойкость покрытий были значительно увеличены. Покрытие с добавлением 10 мас.% Ti_3SiC_2 обладало самой высокой износостойкостью.

3. Всесторонний анализ технологии

Лазерная наплавка является перспективной технологией упрочнения и восстановления деталей механизмов и машин. Сложное устройство современных механизмов требует соответствующие свойства деталей, способных эксплуатироваться в экстремальных условиях, то есть при одновременных механических, коррозионных и эрозионных воздействиях. Покрытия, имеющие высокую твердость и низкий коэффициент трения, имеют большое значение для длительного срока службы технических компонентов.

К преимуществам лазерной наплавки можно отнести минимизирование явления перераспределения компонентов из подложки в наплавленный слой, получение равномерно распределенных высокодисперсных структур, малую необходимость финишной механической обработки за счет малой шероховатости получаемого покрытия, кроме того, данная технология позволяет наносить слой с заданными свойствами толщиной от 0,1 до 3,0 мм. Также лазерная наплавка представляет собой источник теплового излучения и поэтому имеет достоинства такого вида обработки, как легирование. Что касается недостатков, это наличие микротрещин в наплавленных слоях, появляющихся при разности коэффициентов термического расширения, возможность развития как внутренних, так и поверхностных пор (при наличии неметаллических включений, загрязнении подложки, остаточной влажности используемого порошка). Не стоит оставлять без внимания и высокую стоимость лазерного оборудования.

4. Выводы

Каждый из существующих составов градиентных покрытий на основе титана имеет свои преимущества, различные добавки могут оказывать как положительные, так и негативные структурные изменения. Немаловажную роль также играют характеристики лазера, такие как скорость сканирования, мощность излучения, диаметр лазерного пятна, предварительно нанесенная на подложку толщина порошка. Ведется поиск новых составов, а также методов нанесения покрытия, лазерная наплавка на данный момент остается одним из перспективных и представляет собой экономически выгодный способ модернизации промышленности. Однако ни один из существующих составов покрытия не является универсальным, он подбирается в соответствии с условиями эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. RU2683612C1 Фармаковский Б. В., Кузнецоа П. А., Васильева О. В., Никитина И. В., Петраускене Я. В., Бобырь В. В. Способ формирования градиентного покрытия методом лазерной наплавки http://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2683612&TypeFile=html

2. *Fencheng Liu, Yuqing Mao, Xin Lin, Baosheng Zhou,* Tao Qian Microstructure and high temperature oxidation resistance of Ti-Ni gradient coating on TA2 titanium alloy fabricated by laser cladding // Optics & Laser Technology: Volume 83, September 2016, Pages 140-147 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030399215302772

3. *Chaoqi Qi, Xiaohong Zhan, Qiyu Gao, Lijun Liu, Yuanzeng Song, Yaping Li* The influence of the pre-placed powred layers on the morphology, microscopic characteristics and microhardness of Ti-6Al-4V/WC MMC coating during laser cladding// Optics & Laser Technology: Volume 119, November 2019, 105572 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030399219305067

4. *Changjun Han, Yan Li, Qian Wang, Daosheng Cai, Qingsong Wei, Li Yang, Shifeng Wen, Jie Liu,* Yusheng Shi Titanium/hydroxyapatite (Ti/HA) gradient materials with quasi-continuous ratios fabricated by SLM: Material interface and fracture toughness // Materials & Design Volume 141, March 2018, Pages 256-266 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127517311425

5. *Rajid Chakraborty, Mohammad Shahid Raza, Susmita Datta,* Partha Saha Synthesis and characterization of nickel free titanium-hydroxyapatite composite coating over Nitinol surface through in-situ laser cladding and alloying// Surface and Coatings Technology: Volume 358, January 2019, Pages 539-550 https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0257897218312465

6. *Yinghua Lin, Yongping Lei, Xueqiao Li, Xiaohui Zhi,* Hanguang Fu A study of TiB_2/TiB gradient coating by laser cladding on titanium alloy // Optics and Laser in Engineering: Volume 82, July 2016, Pages 48-55 https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143816616000282

7. *Liu Yanan, Sun Ronglu, Niu Wei, Zhang Tiangang, Lei Yiwen* Effects of CeO_2 on microstructure and properties of TiC/Ti_2Ni reinforced Ti-based laser cladding composite coating//Optics and Lasers in Engineering: Volume 120, September 2019, Pages 84-94 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014381661831529X

8. *Yueqiao Feng, Kai Feng, Chenqwu Yao, Zhuguo Li* Effect of LaB_6 addition on the microstructure and properties of (Ti_3Al + TiB)/Ti composites by laser cladding//Material & Design: June 2019, 107959 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127519303971

9. *Yueqiao Feng, Kai Feng, Chenqwu Yao, Zhuguo Li* Effect of LaB_6 addition on the microstructure and properties of (Ti_3Al + TiB)/Ti composites by laser cladding//Material & Design: June 2019, 107959 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127519303971

10. *Tran, Van Nghia, Yang Sen, Phung,* Tuan Anh Microstructure and properties of Cu/TiB_2 wear resistance composite coating on H13 steel prepared by in-situ laser cladding//Optics & Laser Technology: Volume 108, December 2018, Pages 480-486 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003039921830598X

11. *Mingyang Zhang, Min Li, Jing Chi, Shufeng Wang, Sheng Yang, Jie Yang, Yanjiao Wei* Effect of Ti on microstructure characteristics, carbide precipitation mechanism and trobological behavior of different WC types reinforces Ni-based gradient coating//Surface and Coating Technology: Volume 374, September 2019, Pages 645-655 https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0257897219306899

12. *Fei Weng, Chuanzhong Chen,* uijun Yu Research status of laser cladding on titanium and its alloys: A review//Materials & Design Volume 58, June 2014, Pages 412-425 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306914001095

13. *Rajid Chakraborty, Mohammad Shahid Raza, Susmita Datta,* Partha Saha Synthesis and characterization of nickel free titanium-hydroxyapatite composite coating over Nitinol surface through in-situ laser cladding and alloying// Surface and Coatings Technology: Volume 358, January 2019, Pages 539-550 Barun Haldar, Partha Saha Problems on the development of hard and low friction in-situ coating on Ti-Al-4V using laser cladding// Promedia Manufacturing: Volume 20, 2018, pages 446-451 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918301008

14. *X. Li, C. H. Zhang, S. Zhang, C. L. Wu, Y. Liu, J. B. Zhang, M. Babar Shahzad* Manufacturing of Ti_3SiC_2 lubricated Co-based alloy coating using laser cladding technology// Optics & Laser Technology: Volume 114, June 2019, Pages 209-215 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030399217319151

PRODUCTION OF FUNCTIONAL GRADIENT COATINGS BASED ON TITANIUM BY THE METHOD OF LASER CLADDING

Abanina D.

abaninadd@gmail.com

Supervisor: A. Gorunov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

In this paper the preparation of functional gradient materials based on titanium by the method of laser cladding is considered. The results of studies on the improvement of the composition are analyzed, new technologies for the application of the material are considered, conclusions are made about the advantages and disadvantages of new methods, recommendations on practical application are given.

УДК 621.3

ВНЕДРЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНУ

Аладьева З.Б.
Aladeva2000@mail.ru
Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Медицина является быстроразвивающейся наукой, которая на данный момент способна справиться со многими болезнями. Совсем недавно был открыт такой термин как «нанотехнологии», а в след за этим и наномедицина. Данная наука, опираясь на технологии наноуровня, уже в 21 веке совершает крупные прорывы и имеет контакт с такой непобедимой болезнью, как рак.

Нанотехнология – область науки и техники, имеющая дело с совокупностью практических методов исследования, теоретического обоснования, анализа и синтеза, также методов производства наночастиц. В более широком смысле данный термин принимает также методы диагностики, характерологии и исследований объектов [1-5].

Целью работой состоит в рассмотрении использования наноматериалов в сфере медицины и изучении новых технологии в наномедицине (их открытие, организация и принцип действия).

Наномедицина – это медицинское применение нанотехнологии. Данная разработка набирает крупные обороты, поскольку имеет большие перспективы среди традиционной медицины [6,7].

Первое упоминание о нанотехнологии и наночастицах в сфере медицины было в 1959г. в лекции Ричарда Фейнманова «Там, внизу, много места». Американский физик описал робота, имеющего микро размеры для проникания через сосуд в сердце. Таким образом аппарат, выполнив операцию, смог бы исправить клапан.

На сегодняшний день большая область наномедицины находится на теоретической стадии и стадии разработки, поскольку данная сфера была открыты не так давно. Но стоит отметить, что некоторые из них прошли стадию проверки и нуждаются в доработке, что говорит о скором введении их в эксплуатацию.

Нанотехнологии в борьбе с раком

На сегодняшний день представлен проект, использующий нанотехнологию в качестве диагностики заболеваний, в частности ранней стадии рака, который используетнаносенсоры на основе дендримеров. Их получают путем контролируемой самосборки мономеров, определяющих в дальнейшем свойства полимера и высокое сродство к соответствующим молекулам. Выявив рак, непосредственно идет переход к борьбе с раковыми клетками. Фотодинамической терапии — один из методов борьбы с раком. Процесс заключается в использовании фотосенсибилизатора и света с нужной длиной волны. В организм вводятся данные частицы, после чего происходит процесс абсорбирования клеток, в которых раковых в несколько раз больше здоровых. После чего врачи производят облучение с помощью оптического световода, под действием которого свет фотосенсибилизатора вырабатывает особую форму кислорода, которая разрушает раковые клетки.

Следующий путь к борьбе с раком открыл американский исследователь Марк Дэвис, проведя эксперимент в 2010 году. Им были выращены наночастицы в размере 70 нанометр, состоящие из полимерного материала с молекулами siРНК, прицепленными к нему

и имеющие свойства подавлять производство белков. Среди этих молекул были отобраны те, которые были нацелены на подавление RRM2, играющего важную роль в размножении раковых клеток. Опыт был проведен на трех раковых больных. По расчетам Марка Дэвиса при введении siPHK, тот должен был распасться на свободные siPHK и безвредный полимер. В конечном итоге биопсия показала положительный результат: у всех участников эксперимента наночастицы проникли в раковые клетки, а у одно из них была обнаружена сниженная концентрация белка RRM2.

Нанотехнологии и диабет

Немалое население планеты имеет такое хроническое заболевание, как сахарный диабет. Он, как и другие серьезные заболевания, является целью для многих ученых и врачей, поскольку имеет ряд тяжелых симптомов.

Исследователи из Массачусетского технологического университета благодаря своим исследованиям нанотехнологий и их влияний на организм человека смогли разработать инъекцию, чье содержание держится в строжайшем секрете. Задача данного изобретения заключается в поддержании нормального уровня сахара без внешнего введения инсулина. Наночастица способна самостоятельно выработать дозированный инсулин при реагировании на уровень глюкозы и полностью заменить работу бета-клеток поджелудочной железы.

Доцент химического машиностроения и член Института Коха Массачусетского технологического института, Дэниел Андерсон говорит: «С помощью этой системы количество инсулина вырабатывается пропорционально потребности организма»

Гелеобразная структура данной разработки содержит противоположно заряженные частицы, притягивающихся друг к другу. Поскольку гель чувствителен к кислотности крови, он реагирует на кислую среду, после чего непосредственно производится выработка инсулина.

Эффективность новой разработки была доказана экспериментально на лабораторных мышах в течение десяти дней.

Нанотехнологии в качестве доставки лекарств

Ученые выяснили, что в качестве «контейнера» для доставки вакцин и лекарств могут послужить и наночастицы. Тем сама, благодаря инструментам нанотехнологий, реализуется принцип «адресной доставки» лекарственных веществ к клеткам организма. Существует два направления «адресной доставки» лекарственных веществ: пассивный направленный транспорт (облегченное проникновение естественных барьеров) и специфическая доставка (через “узнавание” патологической ткани). Наносистемы в качестве лекарственных препаратов не только увеличивают биодоступность последних, но и обеспечивают поступление в нужный орган.

Разработка искусственной сетчатки глаза

NanoRetina – израильская компания, которая разрабатывает искусственную сетчатку глаза. Интерфейс будет напрямую подключаться к нейронам глаза и передавать результат нейронного моделирования в мозг. Данная разработка была доказана экспериментом над слепой курицей, входе чего было выявлено, что курица смогла распознать свет. Искусственная сетчатка была организована на нано уровне, что прогнозирует о ее использовании без металлов и лишних проводников.

В ходе изучения нанотехнологий в сфере медицины, было определено, что вышеперечисленные достижения в скором времени будут активно использоваться в лечебных учреждениях. Некоторые люди относятся скептично и с недоверием к будущим технологиям, поскольку привыкли к традиционной медицине. Но ученые уже пустили корни наноаппаратов, а значит, совсем скоро нас ждет большой прорыв, который сделает нашу жизнь комфортнее и безопаснее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Юнусов Р.Ф., Кормильцев Н.В.*Электронный курс по наноматериалам и нанотехнологиям// Современные научные исследования и разработки. 2016. №3 (3). С.135-141.

2. *Юнусов Р.Ф.* Опыт разработки и использования электронного курса по наноматериалам// Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 447-450.

3. *Юнусов Р.Ф., Юнусова Э.Р.* История и перспективы развития нанотехнологий // Современные тенденции в научной деятельности. Сборник материалов VII международной научно-практической конференции. Научный центр «Олимп». М.,2015. С.1592-1601.

4. *Морозов Д.С.* Перспективы применения нанотехнологий в энергетике//Наука в движении: от отражения к созданию реальности. Материалы II Всероссийской конференции с международным участием. Под общей редакцией С.В.Юдиной.2017. С. 79-85.

5. *Морозов Д.С.* Применение наноматериалов в авиационной промышленности//Наука в движении: от отражения к созданию реальности. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Электронное издание). Под общей редакцией М.Ш. Гарифуллиной. 2016. С. 79-85.

6. *Юнусов Р.Ф., Юнусова Э.Р.* Нанотехнологии в медицине // Actualscience. 2016. Т.2, № 1. С.19 – 20.

7. *Юнусова Э.Р*. Использование нанотехнологий в медицине// Наука сегодня: теория, практика, инновации. Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции. Научный центр «Олимп». М.,2016, С.1038-1046.

THE INTRODUCTION OF NANOTECHNOLOGY IN MEDICINE

Aladeva Z.

Aladeva2000@mail.ru

Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

Medicine is a rapidly developing science, which is currently capable of coping with many diseases. The term “nanotechnologies” was recently opened, followed by nanomedicine. This science, relying on nanoscale technology, already in the 21st century makes major breakthroughs and has contact with such an invincible disease as cancer.

УДК 621.32

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ

Аладьева З.Б., Сайко А.М.

Aladeva2000@mail.ru

Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Лампа накаливания — искусственный источник света, в котором свет образуется благодаря нагреванию нити накала до высокой температуры. Данная лампа интересна тем, что является первой в своем роде изобретением, к которому стремился не один ученый. Целью данной работы является разработка и изготовление лампы накаливания в домашних условиях, опираясь на законы физики.

21 октября 1879 года было открыто одно из самых важнейших изобретений мир – лампа накаливания. Со школьного курса физики принято считать, что изобретателем данной лампы был американский изобретатель Томас Алва Эдисон, но стоит отметить: у лампочки накаливания были еще и прародители, а это значит, что это изобретение существует больше 150 лет [1-3].

Более известная на слух нам всем лампочка была изобретена 5 годами ранее Александром Лодыгином 11 июня 1874 года – это «Лампочка Ильича». Лампочка Ильича — в СССР разговорное название бытовой лампы накаливания, использовавшейся без плафона. В течение десятков лет лампы совершенствовались, и в конечном итоге к ним на смену пришли светодиодные, галогеновые, инфракрасные, плазменные шары [4] и другие.

Данное изобретение вызвало большой интерес, поскольку является большим прорывом для человечества. Целью этой работы является изучение и создание собственной лампы накаливания.



Рисунок 1 Конструкция лампы накаливания

Вид типичной лампы накаливания показан на рисунке 1, где основным элементом является нить накала, по которой пропускается электрический ток, вызывающий по закону Джоуля – Ленца нагревание тонкой вольфрамовой нити до такой температуры, что она начинает излучать свет с необходимой для освещения мощностью [5]. Изучая структуру лампы накаливания, мы пришли к вопросу: «Возможно, ли повторить данную процедуру дома, опираясь на знания физики и строения лампы?». И данный опыт дал положительный результат в короткие сроки.

В ходе эксперимента была собрана установка, представляющая собой простейшую лампу накаливания. В качестве тела накала использовался 0.5 мм стержень графита. В качестве элемента питания использовались гальванические элементы питания (5 штук). Также, были использованы следующие элементы: два медных изолированных провода (1 метр каждый), два зажима типа «крокодил», стеклянная банка (0.5 литров) и черная изолента.

Поскольку графит проводит электрический ток, его можно использовать в качестве нити накала для лампы. Стержень графита крепится к двум «крокодилам», образуя букву Н, так чтобы стержень служил в качестве перекладины между зажимами. Далее конструкция накрывается стеклянной банкой, это не только необходимая предосторожность, так как нагретый графит будет создавать дым и может разрушиться, стекло также поспособствует более ровному распределению света. Теперь не подсоединенные к графиту концы провода подключаются к батарее, состоящей из 5-ти гальванических элемента питания. В конечном результате графит, нагреваясь, создает свет (рисунок 2).

Данный эксперимент можно назвать удачным, поскольку был получен желаемый источник света путем нагревания графита. К завершению эксперимента было выявлено, что время – это главный помощник прогресса. Когда-то над этим экспериментом работал не один ученый, но сейчас, спустя долгие годы, данную установку удалось собрать за короткий промежуток времени. Нам представляется, что проведение таких экспериментов, подобных описанной в данной статье, будет полезно студентам для творческого подхода к процессу

обучения. Ведь в ходе выполнения таких экспериментов необходимо не только абстрактное знание теории, но и умение практически воплощать задуманную идею. И когда эксперимент заканчивается удачно, обучающийся испытывает чувство радости и удовлетворения, что его усилия и знания привели к конкретному ощутимому результату.

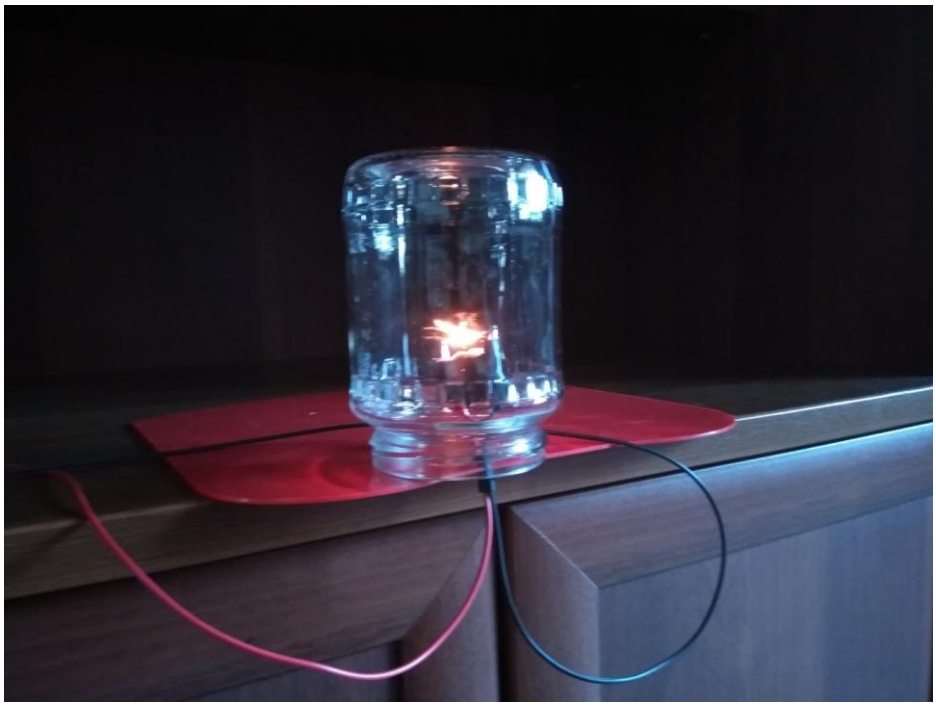


Рисунок 2 Получение источника света

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Юнусов Р.Ф.* Электронные курсы на платформе «Blackboard»//Научнометодический электронный журнал «Концепт». – 2016. - №11 (ноябрь). - С.95-105. – URL: http://e-koncept.ru/2016/16242.htm.

2. *Юнусов Р.Ф.* Электронный курс общей физики// Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли – АКТО-2016. Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2-х томах. Казань, 2016. С. 1014-1019.

3. *Дербышев А.П., Юнусов Р.Ф*. Перспективы использования солнечной энергии//Наука в движении: от отражения к созданию реальности. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Электронное издание). Издательство «Перо». М.,2016. С.174-177.

4. *Юнусов Р.Ф.* Значение шара Тесла для понимания явлений газового разряда// Вестник Казанского государственного университета им. А. Н. Туполева. 2017. Т. 73. № 3. С. 5-9.

5. *Юнусов Р.Ф*. Электронный курс «Электродинамика»// Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли – АКТО-2016. Сборник докладов Всероссийской научнопрактической конференции с международным участием: в 2-х томах. Казань, 2016. С. 1020-1024.

PRACTICAL DEVELOPMENT OF LAMP

Aladieva Z., Saiko A.

Aladeva2000@mail.ru

Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

Incandescent lamp is an artificial light source in which light is produced by heating the filament to a high temperature. This lamp is interesting in that it is the first of its kind invention, which was sought by more than one scientist. The purpose of this work is to develop and manufacture incandescent bulbs at home, based on the laws of physics.

УДК 537.525

СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР В УТОПЛЕННОЙ В МАЗУТЕ ДУГЕ

Ахметвалеева А.Р.
ah_alina.ru@mail.ru
Научный руководитель: Б.А. Тимеркаев, д.ф.-м.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В работе описывается опыт синтеза углеродных наноструктур в электродуговом разряде. Материалами электродов служили графитовые стержни, утопленные в мазуте. Эксперимент проводился при атмосферном давлении. Разряд зажигался путем непосредственного контакта электродов. В результате опыта на электродах наблюдались отложения углеродных наноструктур. Проведены электронно-микроскопические исследования как морфологии, так и элементный состав полученных образцов.

Сегодня наноматериалы находят своё применение в различных областях физики, химии, техники, биологии и медицины. И это лишь небольшой перечень направлений, где высокоактивно и плодотворно развиваются наноматериалы и нанотехнологии. И с уверенностью можно сказать, что ближайшие 20 лет использование наноматериалов будет являться одним из определяющих факторов роста науки.

Для плазмохимического синтеза углеродных наноструктур проделана работа по созданию и произведению экспериментальной установки. Данная установка состоит из реакционной камеры с углеводородным сырьем, соединительных проводов, сильноточного источника электрического питания, измерительных приборов и вытяжного шкафа. В отличие от традиционных способов синтеза углеродных наноматериалов в среде инертного газа в электродуговом разряде за счет испарения атомов углерода из графита, в данной работе источниками атомарного углерода являются молекулы углеводородов. Синтез, который мы проводим, происходит в толще мазута. Данное сырьё не требует первичной обработки и нагрева. Также синтез происходит в вытяжном шкафу для того, чтобы испаряющиеся вещества не попадали в зону работы экспериментатора. Графитовые электроды утапливаются в мазут на 1-2 см и зажигается дугу путём соприкосновения электродов на короткое время. Горение дуги происходит устойчиво и постоянно.

Разложение мазута на более лёгкие составляющие наблюдается за счет взаимодействия электрической дуги и углеводородного сырья. Электрическая дуга обладает высокой температурой, которая в свою очередь создает давление в реакционной области для сохранения в мазуте потока плазмы. Границы плазменной области контактируют с исходным сырьём. Высокая температура плазмы способствует попаданию в зону горения высококипящих фракций углеводородного сырья. За счет быстрых электронов и ионов происходит разделение исходного вещества на более легкие фракции нефти и атомарный углерод.

Эксперимент проводился при атмосферном давлении. Газы и пары различных углеводородов насыщают электродуговой канал при горении. Часть из них растворяется в толще мазута. Кипящая за счет контакта с электрической дугой часть мазута поставляет в область разряда множество нефтяных фракций. Основная масса углеводородного сырья не перегревается и не коксуется благодаря поверхностному кипению и низкой теплопроводности мазута. В потоке электрического разряда возбужденные атомы и молекулы начинают атаку на молекулы углеводорода и атомы углерода постепенно закрепляются на электродах. Газы и пары, которые зарождаются в толще мазута,

стремительно распадаются и уходят из разрядной области, тем самым, оставляя место для нового потока углеводорода.

После окончания эксперимента для удаления мазута была проведена промывка образца керосином. Очищенный образец помещается на сеточку (тонкий металлический диск) затем в шлюзовой отсек микроскопа. Воздух, который попадет снаружи в отсек, откачивается.

Путём использования электронно-сканирующего микроскопа, проанализированы результаты, полученные при плазмохимическом синтезе углеродных наночастиц в утопленной дуге с графитовыми электродами. Полученные результаты были изучены при помощи электронно – сканирующего микроскопа Grossbeam Zeiss Auriga. Снимки представлены на рисунках 1 и 2

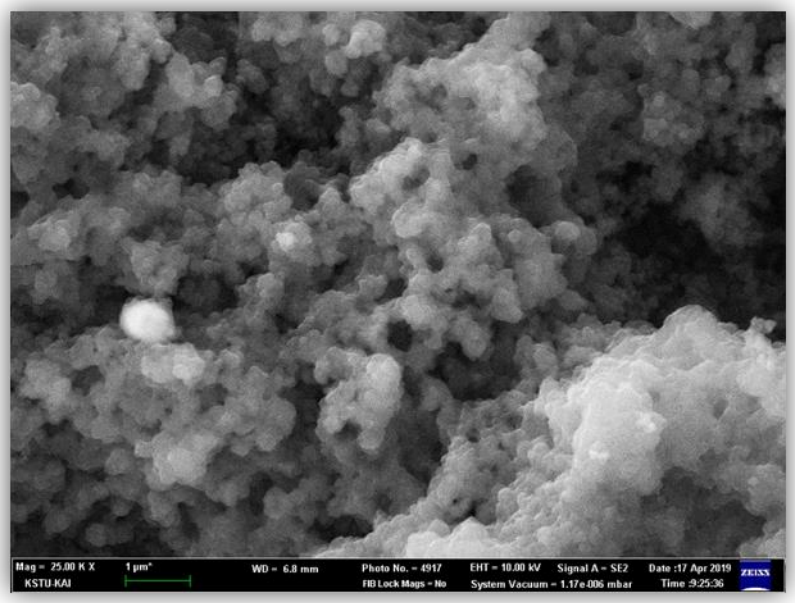


Рис.1. Электронно-микроскопический снимок при увеличении 25000х.

На этом рисунке мы видим наноструктурированные углеродные частицы размерами порядка 50 нм. Наночастицы таких размеров востребованы в производстве суперконденсаторов и анодных элементов литий – ионных батарей.

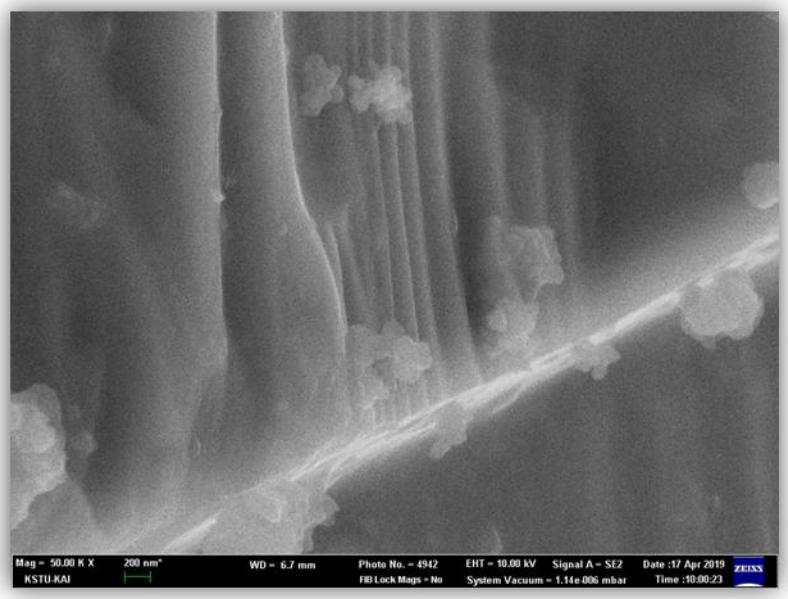


Рис.2. Электронно-микроскопический снимок при увеличении 50000х.

На этом рисунке представлен фрагмент графенового листа. Видно, что поверхность является абсолютно гладкой без дефектов на графеновом строении поверхности. На отдельных участках имеются пристроенные углеродные наноструктуры, имеющие такие же размеры, как и на первом рисунке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Palyanov Yu.N., Kupriyanov I.N., Borzdov Yu.M., Surovtsev N.V.* Scientific Reports, 5:14789 1-8.

2. *Saifutdinov A.I., Ibragimov A.R., Timerkaev B.A.* Technical Physics Letters. 2018. Т. 44. № 2. С. 164-166.

3. *Тимеркаев Б.А., Шакиров Б.Р., Тимеркаева Д.Б.* Химия высоких энергий, 2019, том 53, № 2, с. 155–160.

SYNTHESIS OF CARBON NANOSTRUCTURES IN THE RECESSED IN THE FUEL OIL

Akhmetvaleeva A.

ah_alina.ru@mail.ru

Supervisor: B. Timerkaev, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor

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

The paper describes the experience of synthesis of carbon nanostructures in electric arc discharge. The materials of the electrodes were graphite rods, recessed in fuel oil. The experiment was conducted at atmospheric pressure. The discharge was ignited by direct contact of the electrodes. As a result of the experiment, deposits of carbon nanostructures were observed on the electrodes. Electron microscopic studies of both morphology and elemental composition of the samples were carried out.

УДК 537.81; 535-1/-3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ МОТОРА СПРИНГА ОТ ОСВЕЩЕННОСТИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ И ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИСТОЧНИКА СВЕТА

Бабушкин И.А.

bival2000@mail.ru

Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Работа посвящена исследованию мендосинского мотора (или мотора Спринга), созданного на явлениях магнитной левитации и фотоэлектрического эффекта. Была выявлена зависимость частоты вращения от освещенности светового потока и частоты излучения источника света. Новизна работы состоит в том, что экспериментально показана возможность создания на базе мотора Спринга механического индикатора освещённости и определена лучшая длина волны источника света для достижения максимального вращения мотора.

Левитация, то есть бесконтактное преодоление силы притяжения, является одним из активно разрабатываемых направлений исследований современных учёных. Использование данного феномена открывает широкие перспективы для развития технологий и создания более совершенных технических средств. Работа посвящена исследованию мендосинского мотора (или мотора Спринга), созданного на явлениях магнитной левитации и фотоэлектрического эффекта.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- изготовить, собрать и изучить принцип работы мендосинского мотора;
- на примере практических опытов исследовать влияние освещённости светового потока на частоту вращения мендосинского мотора;
- на примере практических опытов исследовать зависимость частоты вращения

мендосинского мотора от частоты излучения световой волны.

Мендосинский мотор – разновидность бесколлекторного электрического двигателя с ротором на магнитных подшипниках и питанием солнечной энергией.

Мотор (см. рисунок 1) состоит из четырёхстороннего (квадратного сечения) ротора (1), насаженного на вал (2). Ротор имеет два набора обмоток (3) (в каждом по 150 витков) с питанием от солнечных батарей (4) фирмы Aiyima (0,5 В; 100 мА). Подвеска выполнена на постоянных неодимовых магнитах (5). Статор мотора – подставка (6) с постоянными магнитами (7) и магнитными опорами (8).

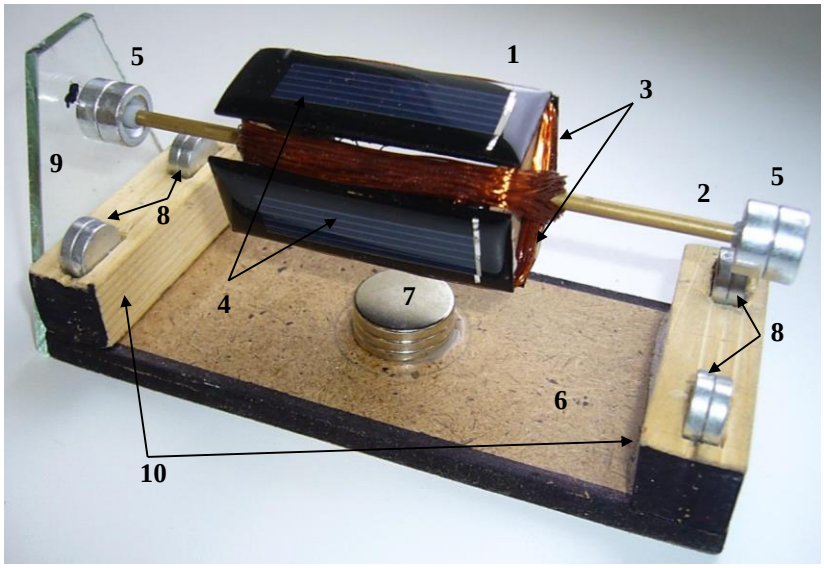


Рисунок 1 – Мендосинский мотор

В соответствии с теоремой Ирншоу левитация при помощи классических статических электромагнитных полей невозможна. [1] Дело в том, что на объект постоянно действует комбинация из гравитационного, электростатического и магнитостатических полей, что делает его положение неустойчивым. Для придания ротору дополнительной устойчивости с одной из сторон вала в конструкции мотора введена стеклянная стенка (9).

Когда фотоны падают на одну из солнечных батарей, они создают фото ЭДС. [2] Ток в обмотке создаёт магнитное поле и возникает сила Ампера со стороны магнитного поля постоянного магнита статора. [3] При вращении ротора следующая солнечная батарея перемещается к свету и возбуждает ток во второй обмотке. А поскольку катушки получают питание по очереди, то и выталкиваются они по очереди. Это взаимодействие и приводит ротор во вращение. Процесс повторяется до тех пор, пока на батареи падает свет.

Для определения зависимости частоты вращения мендосинского мотора от освещённости светового потока, падающего на фотоэлементы мотора, был поставлен эксперимент, предусматривающий выполнения двух этапов:

1. Искусственное воспроизведение изменения освещённости светового потока.
2. Измерение частоты вращения мотора при различной освещённости.

В качестве источника света была взята обычная настольная лампа накаливания мощностью 100 Вт. Для изменения освещённости светового потока лампы из плотного листа ватмана был изготовлен набор диафрагм с отверстиями диаметром 30, 60, 90 и 120 мм. (таблица 1). измерения освещённости проводились в тёмное время суток с помощью люксметра, погрешность измерений которого составляет 5 %.

Таблица 1

Зависимость освещенности мендосинского мотора от диаметра диафрагмы

D, мм	30	60	90	120
Освещённость, лк	740	840	1030	1140

На следующем этапе для исследования зависимости частоты вращения мотора от освещённости на постоянном магните подвеса ротора маркером чёрного цвета была нанесена метка, которая позволяла визуально фиксировать полный оборот двигателя.

Анализ результатов исследования показал, что частота вращения мендосинского мотора находится в прямой зависимости от освещённости светового потока, падающего на фотоэлементы статора (см. рисунок 2 и таблицу 2). При увеличении освещённости частота оборотов двигателя возрастает. Данный факт позволяет сделать вывод о том, что мотор Спринга можно использовать в качестве механического индикатора освещённости.

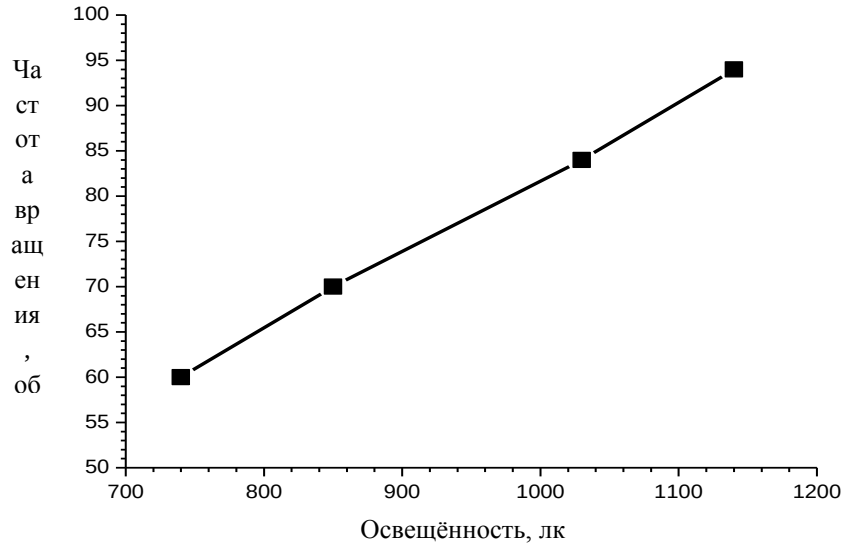


Рисунок 2 – Зависимость частоты вращения от освещенности светового потока

Таблица 2

Зависимость частоты вращения от диаметра диафрагмы

D, мм	30	60	90	120
Частота вращения, об/мин	60	70	84	94

Для определения зависимости частоты вращения мотора от частоты излучения светового потока была собрана измерительная установка (рисунок 3). Измерительная установка состоит из лазерного тахометра dt-2234c, погрешность измерений которого составляет 0.02-0.05%, лампы, подставка для светофильтров, светофильтры -ос 13(красный), ж3с9 (зеленый), с3с21 (голубой), ос 11 (оранжевый), жс 16 (желтый), сс 5 (фиолетовый), сс3с20 (синий) и мендосинского мотора.

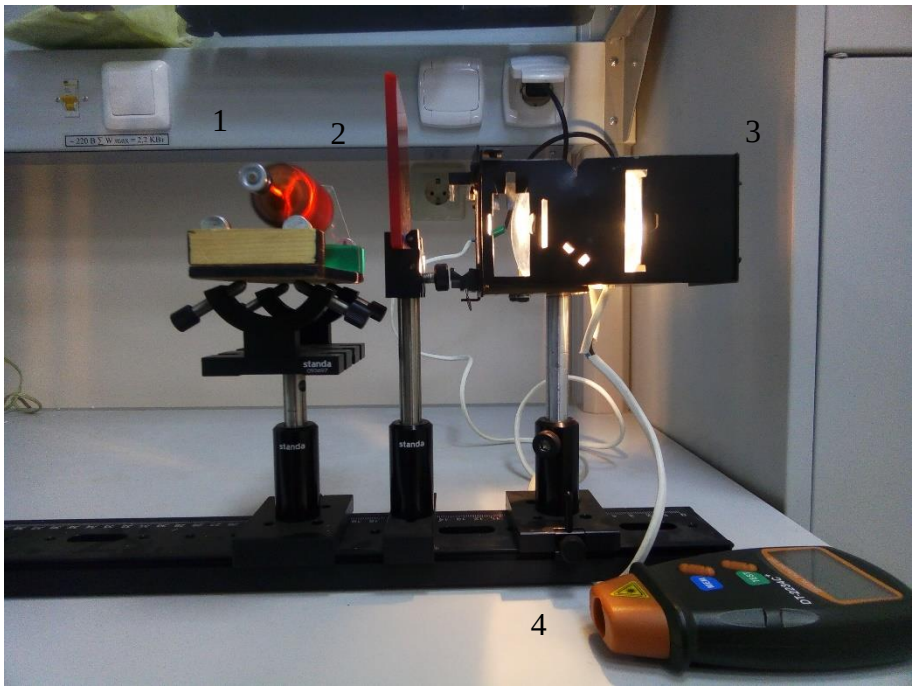


Рисунок 3 – Измерительная установка
(1 – Мендосинский мотор, 2 – светофильтр, 3 – лампа, 4 – лазерный тахометр)

Лазерный тахометр определяет частоту вращения объекта, путем отражения излучения лазера от вращающейся поверхности объекта. Поэтому на магните подвеса черным маркером была закрашена вся его поверхность, за исключением тонкой полоски шириной 5 мм. Именно от неё отражается лазер тахометра.

Подставка с мендосинским мотором и лампой находилась на расстоянии 10 см друг от друга.

Результаты измерений представлены в таблице 3 и на рисунке 4.

Таблица 3

Результаты измерений частоты вращения мотора при различных цветах светофильтра

Цвет светофильтра	Частота вращения через 30 сек, об/мин	Среднее значение частоты вращения за 30 сек, об/мин	Частота вращения через 60 сек, об/мин	Среднее значение частоты вращения за 60 сек, об/мин
Фиолетовый (380 нм)	63	66	86	91
	70		98	
	65		90	
Голубой (480 нм)	500	506	840	844
	510		850	
	507		843	
Зеленый (510 нм)	230	240	360	368
	250		375	
	240		370	
Синий (440 нм)	470	482	800	825
	495		845	
	480		830	
Желтый (585 нм)	670	640	1000	1005
	620		1000	
	630		1014	
Оранжевый (620 нм)	600	603	970	982
	598		986	
	610		990	
Красный (	680	627	1000	987
	580		970	

	620		990	

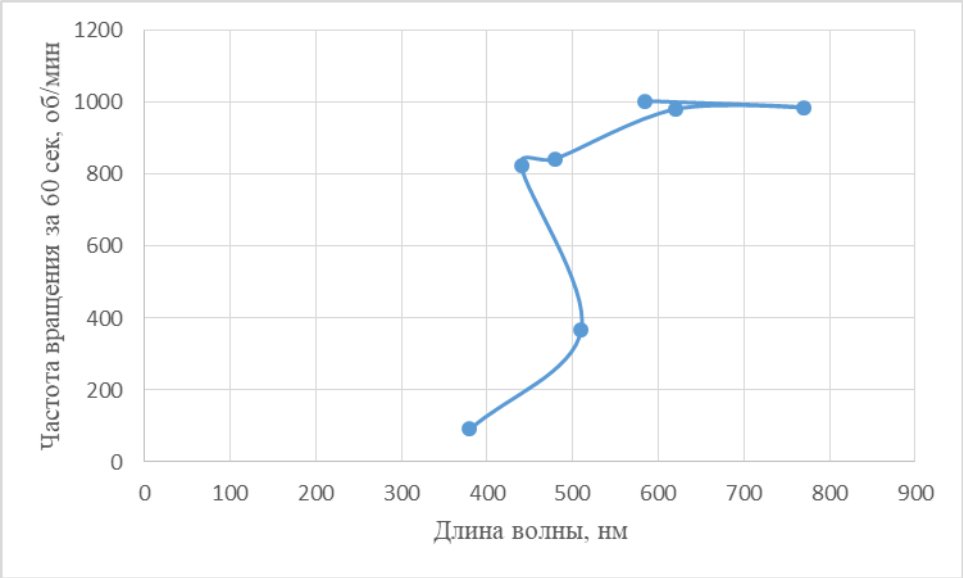


Рисунок 4 – Зависимость частоты вращения от длины волны источника света

Таким образом в ходе исследования мендосинского мотора, было установлено, что:

1) частота вращения мендосинского мотора находится в прямой зависимости от освещённости светового потока, падающего на фотоэлементы статора. При увеличении освещённости частота оборотов двигателя возрастает.

2) Наибольшая частота вращения мотора достигается при длине световой волны в диапазоне от 580 нм до 780 нм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Юнусов Р.Ф.* Дистанционный курс «Электродинамика»//Необратимые процессы в природе и технике. Труды девятой Всероссийской конференции МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, Ч. II, С. 181-184.

2. Физическая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1988.

3. *Юнусов Р.Ф.* Электронные курсы на платформе «Blackboard»//Научно методический электронный журнал «Концепт». – 2016. - №11(ноябрь). - С.95-105.

STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE ROTATION FREQUENCY OF THE SPRING MOTOR ON THE ILLUMINATION OF THE SOLAR BATTERIES AND WAVELENGTH OF THE LIGHT SOURCE

Babushkin Ivan

bival2000@mail.ru

Supervisor: Rinat Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

The work is devoted to the study of the Mendocino motor (or the motor of Spring), created on the phenomena of magnetic levitation and the photoelectric effect. The dependence of the rotational frequency on the illumination of the light flux and the frequency of the light source radiation was revealed. The novelty of the work lies in the fact that the possibility of creating a mechanical indicator of illumination based on the Spring motor is shown experimentally and determined the best wavelength of the light source to achieve maximum motor rotation.

УДК 620.3

ПРИРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ

Баграшова В.А.
bagrashovav@mail.ru
Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В статье рассмотрены свойства природных наноматериалов, и их применение в создании современных технологий.

Нанотехнологии… Это слово мы слышим сейчас довольно часто, оно вошло в нашу жизнь также быстро, как и «гаджеты», «информационные технологии» и т.д. Знакомство с наномиром становится одним из интереснейших аспектов изучения для ученых и заинтересованных в этом направлении людей. Школьники встречаются с этим слово уже на уроках физики[1], когда изучают множители и приставки СИ для образования десятичных кратных и дольных единиц, и их наименований. С греческого языка слово «нано» означает «карлик», и 1 нанометр равен 10^{-9} метра, а если рассматривать квантовую или атомную физику, то это 10 ангстрем. То есть изучение наночастиц рассматривается в разделе теории строения вещества. Они вступают в игру на уровне оболочки атома [2,3].Эти мельчайшие кирпичики являются фундаментами для создания различных веществ, которые в наше время получили название «наноматериалы». Откуда же берет начало загадочный наномир?

Правильно говорят, что «нет ничего более изобретательного, чем природа». Она уже давно пользуется тем, что люди открыли совсем недавно. Наша природа научилась в процессе развития структурировать материю вплоть до мельчайших деталей, вплоть до уровня атома.Поэтому в ней можно найти огромное количество «наноархитерктур». Они являются основой жизненно важных функций живых организмов. Нанотехнологии в природе берут свое начало более 500 млн. лет назад и сейчас их использование является одним из ведущих направлений в развитии научного мира. Человечество с помощью нанотехнологий научилось создавать и структурировать материю в соответствии со своими желаниями на молекулярном уровне. Идеи для создания таких объектов человек черпал из природы.

«Лапки Геккона как выход из проблемы, связанной с космическим мусором»

Проблема загрязнения мусором окружающей среды считается популярной даже в пределах космоса. Ученые находятся в постоянном поиске решения данной задачи. В 2014 году была создана уникальная разработка, позволяющая объектам передвигаться по абсолютно ровным стеклянным поверхностям. Идеей для создания технологии явились лапки небольшой ящерицы геккона, а точнее подушечки на ее лапках. Они содержат большое число нановолосков определенной формы. Засчёт них и **Ван-Дер-Ваальсовой силы, действующей между микрочастицами**, геккон может прилипать к любой отвесной поверхности и висеть на ней даже на одной лапке. Примечательно то, что даже мертвые особи обладают этой невероятной способностью [4]. На основе этого эффекта был создан робот, который способен захватывать и перемещать предметы любых форм и поверхностей. У нового изобретения есть стебельки, содержащие пучки синтетических волокон с присосками на концах, благодаря которым осуществляется захват предметов (рис. 1). Для того чтобы произошел захват, необходимо сообщить некоторую силу, при этом место соприкосновения волосков с объектом увеличивается, и они сцепляются. Разработчики протестировали ноу-хау в открытом космосе. Робот-геккон успешно справился с заданием. Ему удалось провисеть на стене в течение нескольких недель [5].У лап этой удивительной ящерицы есть и другие необычные способности. Они самоочищаются, сопротивляются слипанию. Такие свойства привели к предположениям, что в будущем клеи, болты и заклёпки можно будет делать в едином процессе, нанеся кератин или похожий материал на разные опалубки.



Рис. 1 Строение лапок геккона

«Как чешуекрылые облегчают жизнь пользователям смартфонов?»

Исследование строения глаз всем известных мотыльков, бабочек стало отправной точкой в создании антибликового покрытия для гаджетов. Органы зрения насекомых сверху покрыты наноструктурами, которые позволяют видеть в темноте и хорошо отражают свет. Ученые смогли использовать данные свойства при создании материала, на основе мельчайших сфер SiO_2. Эта поверхность в точности копирует фасеточный тип глаза насекомых. Сферы с помощью центрифугирования разглаживаются в один слой и каждая частица представляется как мельчайшее углубление. Разработчики утверждают, что новый антибликовый материал также защищает экран от царапин и при этом обладает функцией самоочищения. Эти особенности являются очень важным для сенсорных телефонов, на которых часто остаются отпечатки пальцев и оседает пыль.

«Наноструктурированные бабочки Амозонки»

Крылья бабочек Амозонской сельвы поражают своим необычным окрашиванием. Нижняя их часть, на которую свет не попадает, окрашена в темно-коричневый свет. Это объясняется цветом хитинового покрова чешуекрылых. Но если рассмотреть наружную сторону крыльев, то можно увидеть ярко-синее окрашивание(рис. 2). Примечательно то, что крылья бабочек не содержат никакого окрашивающего пигмента. Тогда чем же объяснить такой сильный контраст? Все из-за особой наноструктуры каркаса крыльев. Они отражают свет определенной волны, при этом пропуская основную часть спектра. Многократное повторение этих структурных элементов создает условия для оптической интерференции. Огромное число ученых занимались данным феноменом. Интереснейшим результатом этих исследований может послужить создание защитной маркировки кредитных карт, которая при изменении угла наклона меняет свой цвет (рис. 3).


Рис.2 Окрашивание крыльев бабочек семейства Морфо



Рис.3 Защитная маркировка кредитных карт в виде летящей птицы

«Армия будущего»

Легкий вес и очень прочный состав являются важнейшими факторами при создании идеальной брони. Такое сочетание сразу двух качеств ученые заметили при изучении раковин моллюск. Материал, которым изнутри покрыты раковины, один из самых прочных, так что он может стать прототипом брони «армии будущего». Многослойная структура, состоящая из наноструктурных пластинок, наблюдается в природе при формировании раковин у моллюсков (рис.4). Исследования японских ученых показали, что проткнуть такую ракушку очень сложно, моментально идут трещины во все стороны, но при этом они не распространяются по всему телу ракушки. То есть целостность внутреннего объекта не нарушается. Данная разработка могла бы найти свое применение при изготовлении танков. Использование раковин в этом направлении находится на стадии разработки.

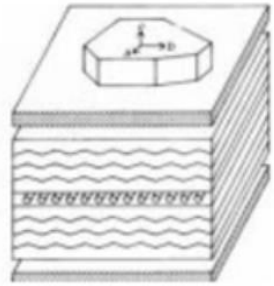


Рис.4 Структура раковины моллюск

«Вечно молодые сойки»

Ученые Шелдинского университета заметили необычную способность птиц «не седеть». Что же происходит, когда клетки, отвечающие за пигмент окраски перьев, отмирают и перестают производить молекулы красителей? Чтобы ответить на данный вопрос, английские физики исследовали фауну лесов России. Объектом для изучения послужила сойка обыкновенная, которая привлекла ученых своей необычной окраской оперения. Ярко-голубые перья сойки обыкновенной при изменении угла наклона падающих лучей необычным образом меняют свой цвет. Все дело кроется в строении пера этой птицы. Каждый его участок, окрашенный в синий, белый или голубой цвет, обладает уникальными оптическими свойствами, отражая только те волны света, которые соответствуют одному из этих цветов. Поверхность пера сойки содержит большое число «дырок», собирающихся в одну композицию, и соединяющих их поверхностей, которые взаимодействуют только с определенными волнами света (рис. 5). Перо предстает перед нами в белом цвете, когда отражаются почти все виды волн видимого цвета. Если же расстояние между «дырками» будет очень маленьким, то перо будет отражать свет только определенной длины волны, тогда цвет пера станет синим или ярко-голубым. Таким образом, вечно молодыми сойки остаются благодаря особому расположению дырок в структуре их пера. В настоящее время исследования в этой области находятся на стадии разработки. Если бы ученые научились управлять цветом с такой же точностью как эти птицы, то мы могли бы создавать одежду, которая после долгого ношения не меняла бы цвета, оставалась яркой и не тускнела.

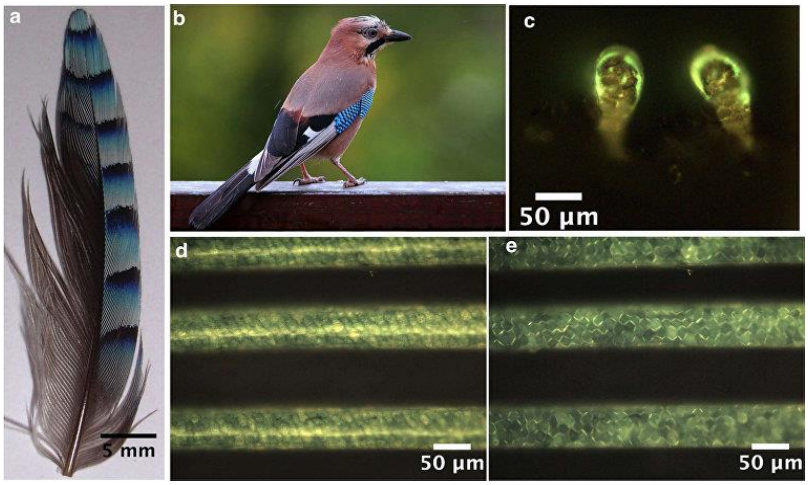


Рис. 5 Строение пера сойки обыкновенной

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Юнусов Р.Ф.* Электронный курс общей физики//Новые технологии, материалы и оборудование авиакосмической отрасли – АКТО-2016. Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в двух томах. Казань, 2016. С. 1014-1019.

2. *Юнусов Р.Ф., Кормильцев Н.В.* Электронный курс по наноматериалам и нанотехнологиям//Современные научные исследования и разработки. 2016. № 3 (3). С.135-141.

3. *Юнусов Р.Ф.* Опыт разработки и использования электронного курса по наноматериалам// Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 447-450.

4. Научно-образовательный портал [Электронный ресурс]. URL: http://www.santorum.ru/?p=1493

5. Дистанционный профильный курс [Электронный ресурс]. URL: http://nano.86sch5.edusite.ru/p11aa1.html

NATURAL NANOMATERIALS

Bagrashova V.

bagrashovav@mail.ru

Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

The article describes the properties of natural nanomaterials and their application in the creation of modern technologies.

УДК 623.773.4

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СНИЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ЗАМЕТНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Балмасов И.А., Семенова Н.Ю.

ilya-balmasov@mail.ru, nina.semenova93@gmail.com

Научный руководитель: В.Г. Гайнутдинов, доктор технических наук, профессор

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

Представлена технология, с помощью которой решаются задачи в области стелс-технологий, применяемых для летательных аппаратов. В частности, теоретически решена фундаментальная и прикладная проблема, связанная снижением радиолокационной заметности в кабине пилотов, а именно предложен комплекс

радиопоглощающих материалов, не уступающих по своим характеристикам лучшим зарубежным образцам. Применение данного комплекса даст существенно уменьшить уровень заметности серийных самолетов и других образцов техники.

Введение

При конструировании самолетов с низким показателем заметности редко получается достичь нужных результатов только путем подбора правильной компоновочной схемы и конструирования малоотражающей формы самолетам. Большое количество ограничений и требований, которые предъявляются к самолетам в области аэродинамики, прочности, управляемости и т. д., не дают по большей части применить большинство компоновочно — конструктивных решений снижения заметности. Зачастую, появляется потребность наносить на элементы конструкций самолета несиловых поглощающих покрытий, а также производства элементов самолета из конструкционных поглощающих материалов. Главным технологическим решением уменьшения заметности корпуса таких деталей является использование покрытий в состав которых входят нано элементы. Использование штатных лакокрасочных покрытий не привело к решению проблемы. Как показали эксперименты, после нанесения такого покрытия поверхность на обшивке самолета приобретает матовую структуру по прошествии нескольких месяцев. Данное явление оказывает отрицательный эффект на показатели малозаметности самолета. Поэтому главным показателем при разработке новых покрытий становится гарантия стабильных отражающих качеств

Задачи, поставленные в области «Стелс»-технологий

В области военной авиации самой важной целью является уменьшение радиолокационной заметности самолетов. Сегодня известны различные способы нанесения различных ультратонких порошков, которые используются в серии авиационных абсорбирующих покрытий, созданных по технологии Stealth, а также в перспективных типах взрывчатых веществ и зажигательных смесей. Углеродные нановолокна применяются для специализированных боеприпасов, необходимых для поражения энергосистем и электроники противника (т.н. «графитовая бомба»). Тем не менее, со всеми положительными свойствами этих покрытий, военные увидели, что в результате применения этих технологий они получали самолет с очень незначительными боевыми показателями. Такой самолет не может нести большое количество вооружения, так как все оно находится по большей части в фюзеляже (самолет демаскируют внешние подвески), а также имеет ограничения по скорости и оперативной дальности и, в конечном счете, должен осторожно использовать радар, или совсем не использовать его, так как излучение радара обнаруживает даже самый малозаметный самолет.

Так же, с развитием современных комплексов РЭБ, которыми оснащена современная авиация, можно обнаружить самолет с таким радиопоглощающим покрытием, используя высокочастотные радары. Кроме того, в других режимах полета, в случае открытия бомболюков самолет виден и обычными радарами, а значит, после того как его засекут он может быть легко поражен наземными средствами.

Поэтому, в настоящее время одной из основных задач является уменьшение радиолокационной заметности особенно кабины экипажей, находящиеся под остеклением, таким образом, чтобы не ухудшились другие характеристики самолета. С этой целью российские авиационные конструкторские бюро – РСК «МиГ» и «ОКБ «Сухого» – получили заказ, целью которого стало производство изделия конструкционной оптики из органического стекла, которое бы обеспечивало уменьшение потока высокочастотного электромагнитного излучения, которое проникает в кабину экипажа, свыше 20 дБ; уменьшение уровня тепловой составляющей солнечной радиации в диапазоне длин волн 900-2500 нм – на 40%; уменьшение уровня отражения (бликов) от поверхности стекла – до 6%, при этом необходимо сохранить достаточно высокий коэффициент светопропускания – свыше 65%.

При формировании требований к оптическим свойствам разрабатываемых радиопоглощающих покрытий (РПП) использование традиционных интегральных

коэффициентов поглощения и отражения недостаточно, поскольку при этом не учитывается направленность оптических свойств материала. К указанным характеристикам необходимо добавить направленный коэффициент излучения и двунаправленный коэффициент яркости.

На рис. 1 представлен пример экспериментальной зависимости коэффициента отражения однослойного РПП, разработанного на основе такого наполнителя с низкими диэлектрическими потерями. РПП такого типа является достаточно эффективным для снижения ЭПР зеркальных точек в 3-см диапазоне длин волн.

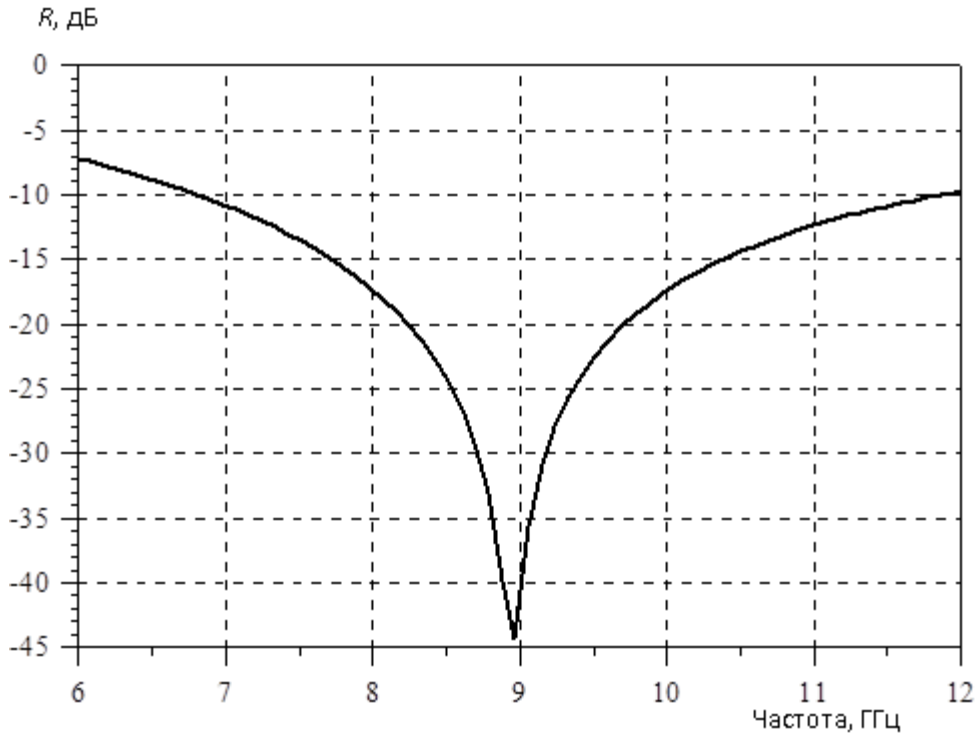


Рис.1. Частотная зависимость коэффициента отражения РПП

Сложность проблемы снижения заметности состоит в том, что поглощающие материалы должны быть следующими:

— достаточно легкими, чтобы не увеличивать массу аппарата;

— иметь малый коэффициент отражения в широком диапазоне длин волн электромагнитного излучения;

— практичными в эксплуатации при различных климатических условиях;

— доступными при ремонте.

Предварительные оценки показывают, что при уменьшении поверхности поглощающих элементов до некоторых критических, магнитные т электрические свойства поверхности получают качественные изменения. Таким образом, с использованием последних достижений в нанотехнологии появляется возможность создания погло-щающих структур на основе новых физических принципов. Для этой цели могут быть использованы, например, слои полимерных матриц с наполнителями в виде линейных (нанотрубки, волокна, микропровод), структура фуллереновой трубки представлена на рис. 2, поверхностных (чешуйки, пленки) и объемных (фуллерены, микросферы) элементов. Слои из таких пленок будут обладать качественно новыми радиопоглощающими свойствами.

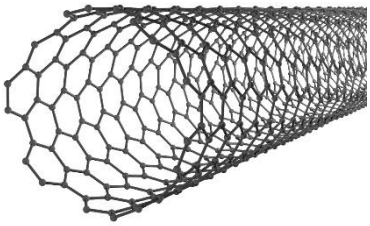


Рис. 2. Углеродная нанотрубка (Фуллереновая нанотрубка)

Для выполнения столь противоречивых требований были разработаны промышленные технологии нанесения многофункциональных наноразмерных покрытий и органосиликатных составов толщин 3-10 нм на изделия из силикатного и органического стекла. Так же высоки требования к точности исполнения переходов к зонам без покрытий или между зонами различных покрытий. В жестких рамках должны находиться требования по температуре и влажности в цехах, где проводится нанесение покрытий. К сожалению, до сих пор многие работы по нанесению полимерных покрытий выполняются вручную. Роботизация наиболее трудоемких операций все еще представляет собой насущную задачу.

Данные мероприятия обеспечивают уменьшение в 3-4 раза излучения электромагнитного поля на членов экипажа и различные приборы в кабине, уменьшение показателя тепловых потоков солнечных лучей на 40% методом отражения инфракрасного излучения в диапазоне длин волн 0,9-2,5 мкм, повышение оптических и антибликовых показателей благодаря уменьшению коэффициента отражения от поверхности стекла в видимом диапазоне длин волн от 400 до 740 нм, особенно улучшает абразивостойкость, серебростойкость и влагостойкость а так же термостабильность оптических и прочностных характеристик остекления.

Заключение

В данной статье была представлена наиболее важные задачи, которые связаны с использованием стелс-технологий. Следует отметить, что результаты, полученные в ходе проведения экспериментов, уже сейчас могут быть использованы не только для авиационной военной, но и для и космической, судостроительной промышленности и многих других объектов военной техники. Вместе с тем, очень хорошо видна необходимость дальнейших исследований – это, прежде всего, уменьшение веса и толщины покрытий, сокращение технологического цикла их нанесения. По конец, хочется отметить, что так же необходимо внедрение подхода позволяющего осуществить серийное производство такого технологического покрытия за относительно недорогую стоимость. Стоит предположить, что развитие нанотехнологий, новых методов в ближайшее время позволит сделать следующий шаг в снижении РЛЗ, проблеме, являющейся важной научно-технической задачей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. «Перспективы использования нанотехнологий в авиационно-космической отрасли» А.М. Доценко, В.А. Каргопольцев, М.Н. Коган, А.Б. Корнилов, А.А. Орлов, В.Н. Семенов, Л.Л. Теперин, М.В. Устинов, 2011, 76(8): 321-7.

2. *Hook M., Vardaxoglou J.C., Ward K.* Application of frequency selective surfaces. 27th ESA Antenna Technology Workshop on Innovative Periodic Antennas: Electromagnetic bandgap, left-handed materials, fractal and frequency selective surfaces, 2004. 9(11); ESA Publications Division, Noordwijk, The Netherlands,

3. *Лагарьков А.Н., Погосян М.А.* Фундаментальные и прикладные проблемы стелс-технологий// Вестник РАН. 2003. Т. 73. №9. с.779–787.

4. *Алексеев А.Г., Штагер Е.А., Козырев С.В.* Физические основы технологии STEALTH. СПб.: ВВМ, 2007. 284 с.

5. Научно-информационный портал по нанотехнологиям, http://nano-info.ru/post/532

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF REDUCING THE RADAR NOTICE OF AIRCRAFT

I. Balmasov, N. Semenova
Supervisor: V. Gainutdinov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

The technology is presented, with the help of which the tasks in the field of stealth technologies used for aircraft are solved. In particular, a fundamental and applied problem was theoretically solved due to a decrease in radar visibility in the cockpit, namely, a set of radio absorbing materials was proposed that were not inferior in their characteristics to the best foreign models. The use of this complex will significantly reduce the level of visibility of mass-produced aircraft and other types of equipment.

УДК 53.06

СТРУКТУРЫ С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ КАК ОБЪЕКТ НАУЧНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНТЕРЕСА

Валеева Д.Р.
1dianavaleeva@gmail.com
Научный руководитель: О.А. Петрова, к.ф.-м.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Работа посвящена изучению таких наноразмерных объектов, как квантовые точки. Проведен анализ реальных и потенциальных сфер применения наноматериалов и устройств, в которых фигурируют квантовые точки. Подчеркнута важность и актуальность дальнейших фундаментальных исследований и экспериментально-инновационной деятельности в данном направлении.

Передовые компании в сфере нанотехнологий, несмотря на их статус и финансовое обеспечение для инновационной деятельности, все-таки ориентированы на выпуск крупных партий наноматериалов и изделий на их основе, пользующихся здесь и сейчас большим спросом. Однако очевидна потребность в фундаментальных исследованиях в областях наноэлектроники, фотоники и квантовых технологий для усовершенствования устройств, их своевременного внедрения и создания новых узкоспециализированных прототипов с высокими характеристиками. Теоретические обоснования экспериментальных данных, полученных в высокотехнологичных отечественных и зарубежных лабораториях, поиск новых решений и их оптимизация с помощью математического аппарата и программного обеспечения – это в настоящее время доступно уже школьникам и студентам. На один перспективный для них вектор исследований указывает данная работа с целью дать необходимый теоретический материал о квантовых точках и предоставить обзор основных направлений их применения.

Квантовая точка (КТ) — это объект квазинульмерной кристаллической структуры любой формы [1] с размерами от 4 нм [2] до одного микрона, ограничивающий движение носителей заряда (электронов и дырок) по всем трем направлениям. КТ имеют дискретный набор энергетических уровней, соответствующий спектру одиночного атома [3], поэтому КТ называют аналогами атомов, искусственными атомами. При этом КТ могут содержать в себе множество электронов (их количество определяется приложенным внешним напряжением) и атомов (например, если внутри КТ 2 электрона, то это искусственный атом гелия).

К КТ относят прежде всего полупроводниковые кристаллы, у которых размеры по всем трем направлениям сопоставимы с боровским радиусом экситона или дебройлевской длиной волны (т.е. нанокристаллы) в жидкостях, стекле, кристаллических матрицах диэлектриков [4]. Электрон в КТ словно в трехмерной потенциальной яме, и расстояние между его стационарными энергетическими уровнями зависит от размера ямы, то есть квантовой

точки. Внутри КТ электрон может переходить между уровнями, излучая или поглощая фотон. Поучается, если менять размер КТ, меняется ее спектр, длины волн люминесценции и поглощения. Возвращаясь к полупроводниковым нанокристаллам, перефразируем предложение: при изменении размера КТ, меняется эффективная ширина запрещенной зоны [5], что имеет практическую значимость в нано- и микроэлектронике.

Если полупроводниковые материалы являются объектом изучения физики твердого тела, то коллоидные полупроводниковые КТ могут существовать и в виде золей [5], что тоже расширяет сферы их применения.

Для синтеза КТ подходят полупроводниковые соединения A_1B_7, A_2B_6, A_3B_5, A_4B_6, Ge и Si, чаще всего упоминаются арсенид галлия или в гетероструктурах арсенид галлия – арсенид алюминия. Основными методами выращивания КТ являются молекулярно-лучевая [6], газофазная и капельная эпитаксия. Для исследования полупроводниковых квантовых точек наиболее универсальными являются оптические методы: спектроскопия поглощения света, фотолюминесценции, комбинационного рассеяния.

Исходя из вышеуказанных кратких сведений, можно сделать вывод: КТ интересны для исследования, потому что мы имеем возможность регулировать ширину запрещенной зоны, частоту переходов и люминесценции, изменяя размер КТ, что делает возможным их применение в оптоэлектрических устройствах, где необходимы варьируемые оптические свойства. Также научный интерес вызывает то, что мы имеем дело с аналогами атомов, что открывает широкую область экспериментальных исследований «атомных» явлений.

Одно из применений КТ – модель одноэлектронного транзистора [7], когда электрон как бы оказывается запертым в КТ за счет кулоновской блокады, а при подключении КТ к контактам и приложении положительного потенциала возникает туннельный эффект, и электрон туннелирует через потенциальный барьер к контакту. Одноэлектронные транзисторы используются в процессорах и оперативной памяти компьютеров.

Путь дальнейших исследований открывает применение КТ в качестве активных сред лазеров по примеру лазеров на квантовых ямах. В случае КТ коэффициент усиления возрастает, а ширина полосы усиления уменьшается. Но есть сложность с плотной упаковкой КТ и уровнем размерных флуктуаций [8], поэтому таких лазеров еще нет в массовом производстве. Однако некоторые типы полупроводниковых лазеров с активной средой на КТ уже коммерчески доступны [4].

В статьях [9], [10] полупроводниковые КТ рассматриваются как основа для модели (прототипа) квантовых битов, являющихся носителями информации в квантовых компьютерах по аналогии с битами в современных ПК. А в пособии [11] приводится в пример операции на состояниях электрона в квантовых точках. Это направление особенно важно, учитывая мировую гонку за реализацию полноценного квантового компьютера, способного продолжительно работать на порядки быстрее современных ЭВМ, также квантовая криптография многое обещает в плане защиты данных.

Десятикратное повышение дрейфовой скорости электронов получили в эксперименте с гетероструктурным транзистором на КТ арсенида индия [12]. Такой транзистор имеет преимущество перед обычным полевым.

Широкое поле потенциального и реального применения коллоидные КТ(ККТ) нашли в биологии и медицине. Токсичность преодолена двумя путями: либо ККТ получают из широкозонных сульфида и селенида цинка с последующим легированием для люминесценции в видимом диапазоне, либо блокируют поверхность с помощью создания инертной оболочки вокруг частицы. Таким образом, ККТ используются в качестве искусственных флюорофоров (например, для высокочувствительных систем считывания информации с биочипов), биомаркеров поверхности клеток, люминесцентных меток в иммуноанализе и для количественного анализа биомолекул, визуализации клеток для диагностики опухолей (стадия опытов на животных на момент выхода статьи), повышают эффективность такого вида фотохимиотерапии, как фотодинамическая терапия. Также ККТ нашли применение в детекции численных и структурных аномалий хромосом

(флуоресцентная гибридизация), в адресной доставке препаратов, флуоресцентных сенсоров препаратов и продуктов их метаболизма, глюкозы (фотоэлектрохимический метод), кишечной палочки, АТФ (регистрации электрохимической люминесценции) [13].

В статье [14] есть вывод о том, что из фотодиодов, фототранзисторов и волноводных фотодиодов наибольшая квантовая эффективность реализуется в волноводных исполнениях и фотодетекторах (ФД) с многослойными брэгговскими отражателями. А чтобы получить преимущества ФД с КТ, нужно уменьшить размер КТ (<10 нм) и увеличить их плотность. Методом молекулярно-лучевой эпитаксии создавались самоорганизующиеся островки квантовых точек германия на кремнии.

Поверхностная плотность КТ играет существенную роль и в солнечном элементе на основе кремния с квантовыми точками германия. Введение квантовых точек повышает эффективность преобразования солнечной энергии [15] на 6,6%. Эффективность преобразования определялась по фототоку.

Часто позиции КТ в материале не упорядочены, и чтобы получить информацию об их расположении, можно исследовать во времени спектры их фотолюминесценции, сообщая материалу колебательные движения с помощью пьезоэлектрического преобразователя [16].

В одной из недавних работ [17]. был предложен высокочувствительный гибридный фотодетектор (ФД) на основе самоорганизованных (самосборных) КТ нитрида галлия-индия, который может использоваться в дистанционном зондировании, визуализации, дымовой пожарной сигнализации. Традиционные ФД на основе нитридов 3-5 групп имеют недостаточную чувствительность из-за дефектов и дислокаций в кристаллах, а графен-коллоидные КТ для гибридного фототранзистора трудно синтезировать. Исследователи будут дальше работать над новым типом высокочувствительных ФД.

Вывод: КТ можно разными способами получать, изучать и использовать, это широкий класс объектов разного размера и свойств, поэтому КТ являются перспективными для создания устройств и наноматериалов на их основе. Но для этого необходимы глубокие теоретические исследования в области физики твердого тела, квантовой механики, наноэлектроники, химии и математического моделирования, а также экспериментальные исследования на высокотехнологичном оборудовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Основы оптики и спектроскопии квантовых точек: Учебно-методическое пособие для ВУЗов / *Овчинников О.В. [и др.]* – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2013. –80с.

2. *Леденцов Н.Н., Устинов В.М., [и др.]* Гетероструктуры с квантовыми точками: Получение, свойства, лазеры: Обзор // Физика и техника полупроводников. 1998. Т. 32. 25 с.

3. Исследование квантово-размерных гетероструктур In(Ga)As/GaAs методами фотоэлектрической спектроскопии и просвечивающей электронной микроскопии: Электронное учебно-методическое пособие. / *Павлова Е.Д., Волкова Н.С. [и др.]* – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 42 с.

4. *Федоров А.В., Рухленко И.Д., Баранов А.В., Кручинин С.Ю.* Оптические свойства полупроводниковых квантовых точек. – СПб.: Наука, 2011. –188 с.

5. *Васильев Р.Б., Дирин Д.Н.* Квантовые точки: синтез, свойства, применение: Методические материалы М.: ФНМ, 2007, – 34 с.

6. *Шаховой Р.А., Юзюк Ю.И.* На пути в эру нанотехнологий. Квантовая и оптическая электроника: Учебник для студентов технических ВУЗов. – Ростов н/ Д: ЮФУ, 2011. – 127 с.

7. *Om Kumar and Manjit Kaur* Single electron transistor: applications & problems // International journal of VLSI design & Communication Systems (VLSICS) Vol.1, No.4, December 2010.

8. *Звелто О.* Принципы лазеров / Пер. под науч. ред. *Т. А . Шмаонова*. 4-еизд. – СПб.: издательство «Лань», 2008. — 720 с.

9. Расчет G-фактора в малых квантовых точках / *Мандель А.М. [и др.]* // Краткие сообщения по физике Физического института им. П.Н. Лебедева Российской Академии Наук, 2018.

10. Модель кубита на основе полупроводниковой квантовой точки с управляемой передислокацией двухцентровой волновой функции во внешнем электрическом поле/ *Кревчик В.Д., Разумов А.В. [и др.]* // Известия высших учебных заведений. Физико-математические науки, 2010.

11. *Кронберг Д.А., Ожигов Ю.И., Чернявский А.Ю.* Квантовая информатика и квантовый компьютер: Учебно-методическое пособие. – Макс Пресс Москва, 2011. – 65 с.

12. Гетероструктурный транзистор на квантовых точках с повышенной максимальной дрейфовой скоростью электронов / *Мокеров В., Пожела Ю. [и др.]* // Физика и техника полупроводников. 2006. том 40. вып. 3. С. 367.

13. Наночастицы, наносистемы и их применение. Ч.1. Коллоидные квантовые точки / *под ред. В. А. Мошникова, О. А. Александровой* – Уфа: Аэтерна, 2015. – 236 с.

14. Фоточувствительные структуры на основе наногетероструктур Si/Ge для оптических систем передачи информации/ *А.В. Войцеховский, А.П. Коханенко [и др.]* // Успехи прикладной физики, 2013, Т. 1, № 3, С. 338 – 343.

15. Эффективность преобразования солнечной энергии солнечным элементом на основе Si с квантовыми точками Ge/ *А.В. Войцеховский [и др.]* // Прикладная физика – 2010. – Т. 6. – № 2. – С. 96–102.

16. Poizat Synopsis: Straining After Quantum Dots [электронный ресурс]. – режим доступа: https://physics.aps.org/synopsis-for/10.1103/PhysRevLett.118.117401 (Дата выхода: March 16, 2017).

17. Graphene on Self-Assembled InGaN Quantum Dots Enabling Ultrahighly Sensitive Photodetectors/ *Anqi Hu, Huijun Tian [и др.]* // Advanced Optical Materials Volume7, Issue8, 2019.

STRUCTURES WITH QUANTUM DOTS AS AN OBJECT OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL INTEREST

D. Valeeva

1dianavaleeva@gmail.com

Supervisor: O. Petrova, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor

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

The article is devoted to the study of such nanoscale objects as quantum dots. There was an analysis of the real and potential applications of nanomaterials and devices which include quantum dots. The importance and relevance of further fundamental research and experimental and innovative activities in this direction are emphasized.

УДК-54-183

ПЛЕНКА ЛЕНГМЮРА-БЛОДЖЕТТ И МЕТОДЫ ЕЕ ПЕРЕНОСА НА ТВЕРДУЮ ПОДЛОЖКУ

Гайфутдинов С.А., Кирушин А.Л.

salavat.gayfutdinov.2000@mail.ru

Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной статье рассмотрены пленка Ленгмюра-Блоджетт и методы ее переноса на твердую подложку.

Пленка Ленгмюра-Блоджетт представляет собой наноструктурированную систему [1], образованную при переносе пленок Ленгмюра или монослоев Ленгмюра из раздела жидкость-газ на твердые опоры во время вертикального прохождения через монослои. Пленки могут содержать один или несколько монослоев органического материала, нанесенных с поверхности жидкости на твердое тело путем погружения твердой подложки в жидкости [2-3].

Монослои собираются вертикально и обычно состоят либо из амфифильных молекул с гидрофильной головкой и гидрофобным хвостом (например, жирные кислоты), либо,

в настоящее время, из наночастиц. Пленки Ленгмюра-Блоджетт названы в честь Ирвинга Ленгмюра и Кэтрин Блоджетт, которые изобрели эту технику, работая в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах дляGeneral Electric Co.

Открытие пленки началось с Бенджамина Франклина в1773году,когда он капнул около чайной ложки масла в пруд. Франклин заметил, что волны успокоились почти мгновенно и что они растянулись примерно на пол-акра. Чего Франклин не понимал, так это того, что масло образовало монослой на поверхности пруда. Более ста лет спустя лорд Рэлей подсчитал то, что видел Бенджамин Франклин. Зная, что масло, олеиновая кислота, равномерно распространилось по воде, Рэлей подсчитал, что толщина пленки составляла 1,6 нм, зная объем упавшего масла и площадь покрытия.

С помощью своей кухонной раковины Агнес Покельс показала, что область пленок можно контролировать с помощью барьеров. Она добавила, что поверхностное натяжение зависит от загрязнения воды.Она использовала различные масла для вывода о том, что поверхностное давление не изменится до тех пор,пока площадь не ограничится примерно 0,2нм^2.Эта работа была первоначально написана как письмо лорду Рэлею, который затем помог Агнес Покельс стать опубликованной в журналеNaturев1891году[4].

Работа Агнес Покельс подготовила почву для Ирвинга Ленгмюра, который продолжил работу и подтвердил результаты Покельс. Его наблюдения показали, что длина цепи не влияет на пораженный участок, поскольку органические молекулы расположены вертикально.

Прорыв Ленгмюра не произошел до тех пор, пока он не нанял Кэтрин Блоджетт в качестве своей помощницы. Работая вGeneral Electric, Ленгмюр и Блоджетт обнаружили, что при вставке твердой поверхности в водный раствор, содержащий органические частицы, органические молекулы будут равномерно осаждать монослой на поверхности. Это процесс осаждения пленки Ленгмюра-Блоджетт. Благодаря этой работе, Ленгмюр был награжден Нобелевской премией в 1932 году. Кроме того, Блоджетт использовала эту пленку для создания прозрачного на99%антибликового стекла, покрывая стекло фторированными органическими соединениями, образуя простое антибликовое покрытие.

Пленки Ленгмюра образуются, когда амфифильные(поверхностно-активные вещества или ПАВ) молекулы или наночастицы распространяются по воздуху на границе воздух-вода. Поверхностно-активные вещества – это молекулы с гидрофобными «хвостами» и гидрофильными «головками». Когда концентрация ПАВ меньше минимальной поверхностной концентрации коллапса и полностью нерастворима в воде, молекулы ПАВ располагаются так, как показано на рис.1.

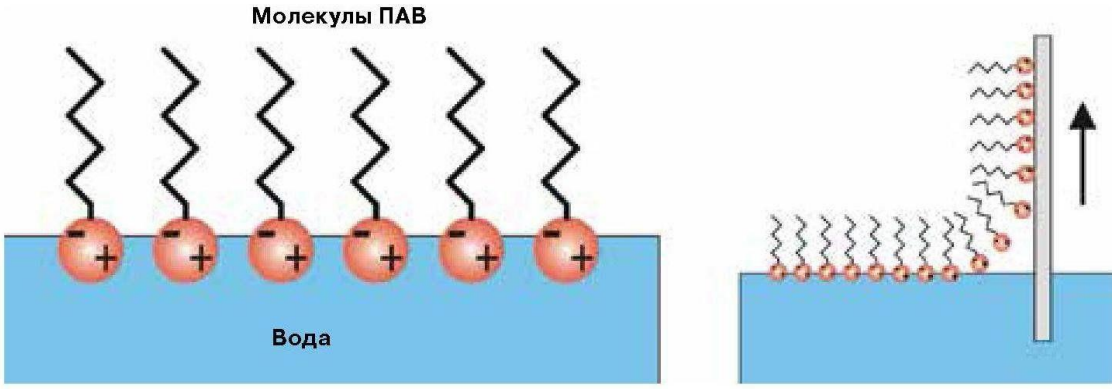


Рис.1.Молекулы ПАВ на поверхности воды и метод вертикального подъема.

Эта тенденция может быть объяснена соображениями поверхностной энергии. Поскольку хвосты являются гидрофобными, их воздействие на воздух предпочтительнее, чем на воду. Общим эффектом является уменьшение поверхностной энергии.

При очень малых концентрациях, далеких от поверхностной плотности, совместимой с коллапсом монослоя (что приводит к структурам полислоев), молекулы ПАВ совершают

случайное движение на границе вода-воздух. Это движение можно рассматривать как движение молекул идеального газа, заключенных в контейнер. Соответствующими термодинамическими переменными для системы ПАВ являются поверхностное давление (П), площадь поверхности (А) и количество молекул ПАВ (N). Эта система ведет себя подобно газу в сосуде. Плотность молекул ПАВ, а также поверхностное давление увеличиваются при уменьшении площади поверхности А. Дальнейшее сжатие молекул ПАВ на поверхности показывает поведение, аналогичное фазовым переходам. «Газ» сжимается в «жидкость» и, в конечном счете, в идеально закрытый упакованный массив молекул ПАВ на поверхности, соответствующей «твердому» состоянию. Жидкое состояние обычно отделено в жидкостно-расширенных и жидкостно-сконденсированных состояниях. Все состояния пленки Ленгмюра классифицируются в соответствии с коэффициентом сжимаемости пленок, определяемым как – А (dП/dA), обычно связанным с упругостью монослоя в плоскости.

Конденсированные пленки Ленгмюра (при поверхностном давлении выше15нм/м– 30 нм/м) могут быть впоследствии перенесены на твердую подложку для создания высокоорганизованных тонкопленочных покрытий. Помимо пленки из ПАВ, изображенной на рис.1, аналогичные монослои могут быть также изготовлены из неорганических наночастиц.

Существует два способа перенесения монослоев с границы раздела вода-воздух на твердую подложку. Более популярный способ–вертикальное осаждение, впервые продемонстрирован Ленгмюром и Блоджетт. Монослой амфифильного элемента способен осаждаться с границы раздела с помощью вертикального смещения пластинки (рис.2).

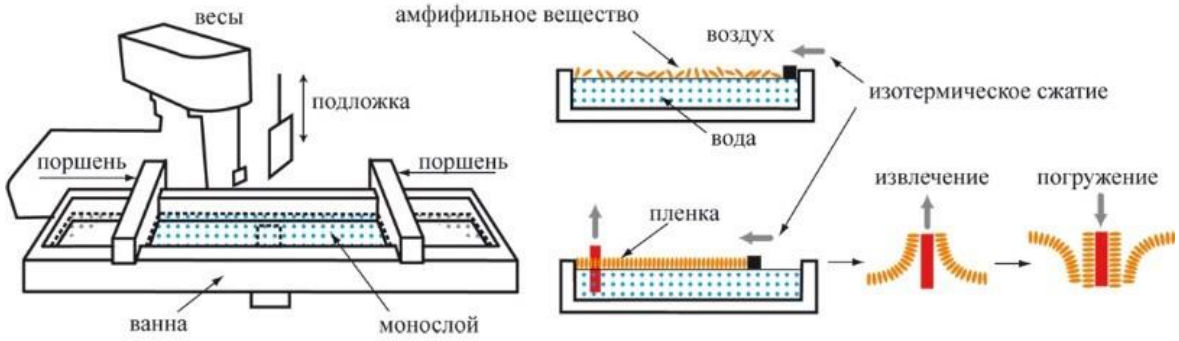


Рис.2.Схема получения пленок Ленгмюра-Блоджетт.

Если подложка движется сквозь монослой в рубеже вода-воздух, он может быть передвинут в ходе всплывания или погружения. Монослой как правило переносится в ходе всплывания, если поверхность подложки гидрофильная. Если она гидрофобная, появляется возможность переместить монослой в ходе погружения.



Рис.3.Вертикальный и горизонтальный методы подъема.

На рис.3продемонстрирован второй способ формирования пленок горизонтальный способ

подъема. Он был разработан Ленгмюром и Шеффером в1938 году. Этот способ полезен для осаждения жестких пленок. В данном случае сперва создается сжатый монослой в рубеже вода-воздух. Далее тонкая подложка находится в горизонтальном положении на пленку монослоя. При подъеме подложки, монослой переносится на нее, удерживая то же самое направление молекул.

Применение пленок Ленгмюра-Блоджетт дает возможность в абсолютно новой основе установить вопрос о направленных электро-и фотохимических реакциях, таких, как фотосинтез, преобразование солнечной энергии или фоторазложение воды. Кроме того, методика ленгмюровских пленок считается основой для одной из передовых областей науки молекулярной электроники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Юнусов Р.Ф., Кормильцев Н.В.* Электронный курс по наноматериалам и нанотехнологиям //Современные научные исследования и разработки. 2016.№3 (3).С. 135-141.

2. *И.Р. Петерсон*, «МонослоиЛенгмюра»,в изданииTH Richardson, Ed.Функциональные органические и полимерные материалыWiley: NY (2000).

3. *Сайед Аршад Хуссейн, Д. Бхаттачарджи*, «Пленки Ленгмюра-Блоджетт и молекулярная электроника».

4. *Pockels* A., SurfaceTension, Nature, 1891, 43, 437.

LANGMUIR-BLODGETT'S FILM AND METHODS OF TRANSFER ON A SOLID SUBSTRATE

Gayfutdinov Salavat, Kirushin Aleksey

salavat.gayfutdinov.2000@mail.ru

Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

This article describes the Langmuir-Blodgett's film and methods of transfer on a solid substrate.

УДК 53.05

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ АНИМАЦИИ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ КВАНТОВЫХ ЭФФЕКТОВ В НАНОСТРУКТУРАХ

Домрачева Ю.К., Валеева Д.Р.

domracheva.y@inbox.ru; 1dianavaleeva@gmail.com*;*

Научный руководитель: О.А. Петрова, к.ф.-м.н., доцент

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

В работе рассматриваются теоретические принципы физических явлений, лежащих в основе работы устройств нового типа и изучаются возможности применения компьютерной анимации для демонстрации этих явлений. Чтобы понять принцип работы устройств, мы изучаем квантово-механические явления, которые визуализируем для наглядности с помощью компьютерной анимации от Wolfram Research.

Наноструктура (Наноразмерная структура, НРС) – это совокупность нанообъектов, свойства которой определяются их размером и взаимным расположением. Нанообъекты имеют хотя бы в одном измерении размер до 100 нм. В таких структурах меняется энергетический спектр носителей заряда, возникают новые (размерные) квантовые эффекты.

Мы изучили сайт компании Wolfram Recearch и его ресурс открытого доступа – «Demonstration project», раздел «Физика». В работе [1] показано, что этот раздел можно использовать для изучения физики. Мы выбрали примеры, относящиеся к нанотехнологиям:

туннельный эффект и движение электрона в потенциальных ямах. Задача относится к программам курсов «Методы диагностики в нанотехнологиях», «Квантовая механика» и «Физико-химические основы нанотехнологий». Работа является актуальной, т.к. квантово-размерные структуры служат основой для большого числа приборов нового типа, и компьютерная анимация улучшает понимание физических принципов их работы. Визуализация необходима в нанотехнологиях, где большинство процессов не доступны человеческому глазу без специального оборудования.

Современные технологии полупроводников позволяют создавать многослойные тонкопленочные структуры толщиной, сравнимой с длиной волны де Бройля носителей заряда (1-10нм). Если создать гетероструктуру, встраивая тонкий (1-10нм) слой узкозонного твердого раствора $\ln_x Ga_{1-x}As$ в сравнительно толстый (порядка 1 мкм) слой широкозонного $GaAs$, то разрывы валентной зоны и зоны проводимости образуют потенциальные ямы для электронов и дырок соответственно. Энергетический спектр носителей заряда в таких структурах можно изменять при изменении размеров и геометрии потенциальной ямы.

Для расчета энергетического спектра носителей заряда в структурах с квантовыми ямами используется уравнение Шредингера. В одномерном случае оно имеет вид [2]:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2}+\frac{2m}{\hbar^2}(W-U)\psi(x)=0, \qquad (1)$$

где $\hbar$ - постоянная Планка, $U(x)$ – потенциальная энергия ($U=0$ внутри ямы и $U=U_0$ все ее), $m=9.1\cdot10^{-31}$ кг – масса электрона, W – его энергия. Уравнение имеет решение только при определенных значениях энергии частицы W, волновые функции имеют вид:

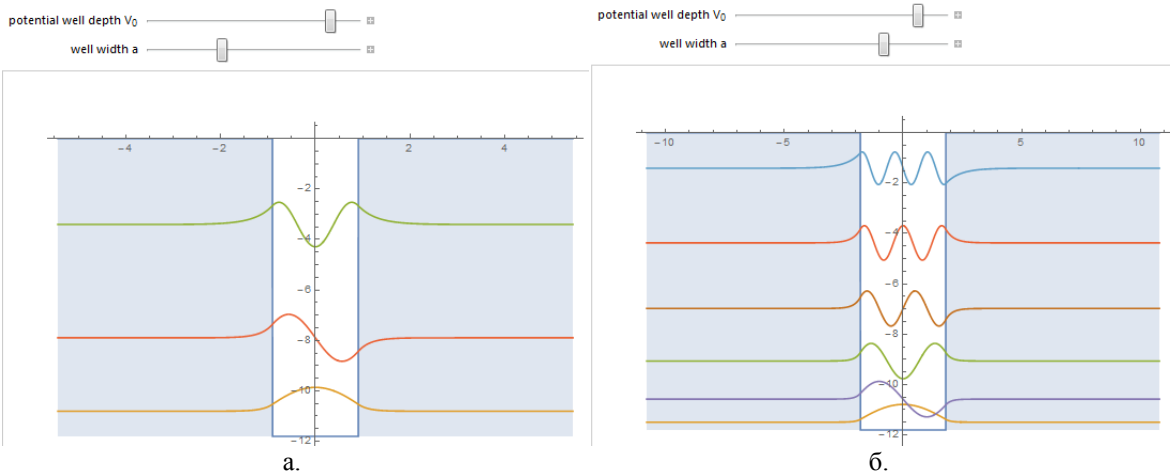
$$\psi_1(y)=C_1e^{\beta x},\ \psi_3(y)=C_6e^{-\beta x} \text{ вне ямы}, \qquad (2)$$

$$\psi_2(xy)=C_3\cos(kx)+C_4\sin(kx) \text{ внутри ямы}, \qquad (3)$$

здесь $\beta^2=\frac{2ma^2}{\hbar^2}(U-W)$, $k^2=\frac{2ma^2}{\hbar^2}W$, a – ширина ямы, C_i - постоянные.

На рис.1а приведена демонстрация, где изображены первые три волновые функции, соответствующие первым трем значениям энергии W. Как видно из рисунка, электрон локализован преимущественно в потенциальной яме, но есть небольшая вероятность его нахождения в область вне ее – за потенциальным барьером.

Число уровней энергии и их расположение зависит от ширины потенциальной ямы, ее глубины и массы частицы. В выбранной демонстрации можно изменять глубину и ширину ямы. Если увеличивать ширину ямы, число уровней в яме увеличивается (рис 1б). В пределе, когда яма становится бесконечно широкой, энергетический спектр станет непрерывным. Если изменить глубину ямы, положение уровней также меняется. Под каждой демонстрацией есть необходимый теоретический минимум для удобства работы с примером.



а. б.

Рис. 1 Демонстрация выполнения функций

Если создать двойную гетероструктуру, встраивая тонкий (1-10нм) слой узкозонного твердого раствора $\ln_x Ga_{1-x}As$ в сравнительно толстый (порядка 1 мкм) слой широкозонного $GaAs$, то разрывы валентной зоны и зоны проводимости образуют потенциальные ямы для электронов и дырок соответственно (рис.2а). Такая гетероструктура является основой лазера на квантовой яме.

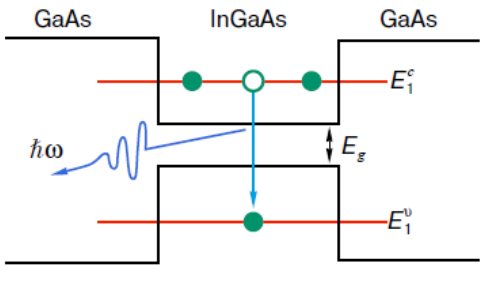


Рис.2а.

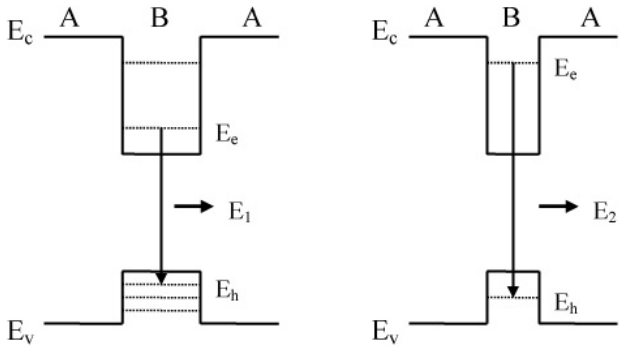


Рис 2б.

Изменение размеров квантовой ямы ведет к изменению расположения уровней энергии, а значит, к изменению частоты излучаемого света (рис.2б).

Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) основан на туннельном эффекте – проникновении электронов через узкий потенциальный барьер между металлическим зондом и проводящим образцом во внешнем электрическом поле [3].

В СТМ зонд подводится к поверхности образца на расстояния в несколько ангстрем. При этом образуется туннельно-прозрачный потенциальный барьер. Туннельный эффект заключается в том, что частица с полной энергией меньше высоты потенциального барьера преодолевает его, проходит под барьером как бы по тоннелю. Чем меньше высота и ширина потенциального барьера, тем больше значение вероятности прохождения частиц через барьер, тем больше значение тока. Коэффициент прохождения будет экспоненциально зависеть от высоты и ширины барьера.

Для качественного объяснения туннельного эффекта можно использовать одномерное уравнение Шредингера (1), только в теперь $U = 0$, если частица находится перед и за барьером и $U = U_0$ внутри барьера.

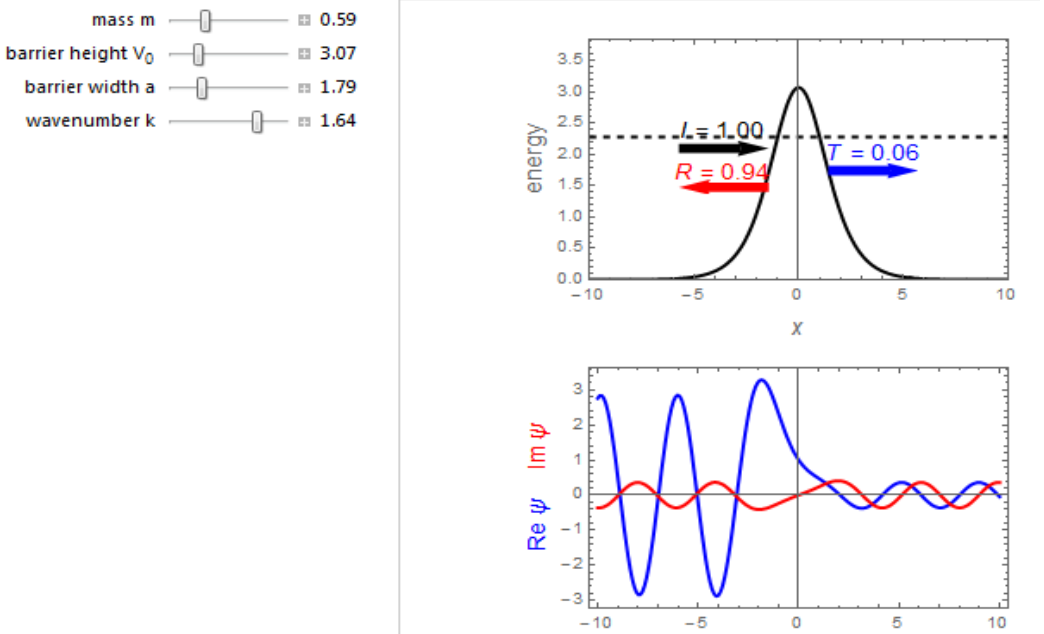


Рис.3. Рассеяние симметричным потенциалом Экарта

Рассмотрим компьютерную анимацию Scattering by a Symmetrical Eckart Potential (Рассеяние симметричным потенциалом Экарта), которая визуализирует прохождение частиц через потенциальный барьер более сложной формы (рис.3). Модель позволяет изменять энергию частицы, ее массу, ширину и высоту потенциального барьера, при этом вычисляются значения коэффициентов отражения и прохождения частицы.

Из рисунка видно, что если энергия частицы меньше высоты барьера, то частица может пройти через него (коэффициент отражения $R = 0.94$). Коэффициент прохождения будет экспоненциально зависеть от высоты и ширины барьера.

Выводы: компьютерная анимация позволяет наглядно демонстрировать физические явления, на которых основана работа многих устройств наноэлектроники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Петрова О.А.* Система Wolfram Mathematica в лекционном курсе общей физики. Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева, 2014, № 4, с.120-123.

2. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Курс теоретической физики. Том 3 Квантовая механика (нерелятивистская теория): уч. –изд. - Вологда: ФИЗМ АТЛИТ, 2004. -800 с.

3. *Габдуллин П.Г., Костюченко З.А., Поречная Н.И.* Физика нанокомпозиционных материалов. Сканирующая зондовая микроскопия: Учеб. Пособие – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2010.- 71с.

THE USE OF COMPUTER ANIMATION FOR DEMONSTRATION OF QUANTUM EFFECTS IN NANOSTRUCTURES

Yu. Domracheva, D. Valeeva

domracheva.y@inbox.ru; 1dianavaleeva@gmail.com;

Supervisor: O. Petrova, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor

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

The paper discusses the theoretical principles of physical phenomena that underlie the operation of new-type devices and explores the possibilities of using computer animation to demonstrate these phenomena. To understand the principle of operation of devices, we studied quantum-mechanical phenomena that are visualized using computer animation from Wolfram Research.

УДК 537.525

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ПОКРЫТИЯ ОБКЛАДОК ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

Зылева М.А.

Научный руководитель: Б.А. Тимеркаев, д.ф.-м.н., профессор

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В работе описана методика нанесения нанопокрытий из углеродных материалов на обкладки суперконденсаторов в электрическом разряде.

Принцип устройства плоского конденсатора довольно прост: конденсатор представляет собой две обкладки, разделенные слоем диэлектрика (Рис.1).

Емкость такого конденсатора измеряется известной формулой:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d},$$

где C – емкость, S — площадь обкладки, d — толщина диэлектрика, ε — диэлектрическая проницаемость диэлектрика, ε_0 – электрическая постоянная.

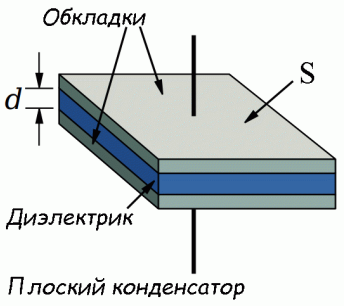


Рис.1 Принцип устройства плоского конденсатора

Из этой формулы видно, что емкость конденсатора во многом зависит от площади обкладок, увеличив которые можно добиться значительного увеличения емкости конденсатора. Именно это достигается в так называемых суперконденсаторах или ионисторах, обкладками которых служит металлическая фольга, поверхность которой снабжена проводящим слоем, включающим углеродные наноструктуры. Эффективная площадь обкладок таких конденсаторов благодаря пористости достигает до 10 000 м^2 на каждый грамм массы электродов, что позволяет достигать очень большой емкости (до 3кФ) при малых размерах и малом напряжении (до 2,7 В) [1].

В настоящее время науке известно немало методов получения наноструктурированной фольги. Рассмотрим некоторые из них. Прототипом такой фольги является алюминиевая фольга, имеющая на поверхности лес из нанотрубок [2]. Недостатком этого изобретения является высокая стоимость фольги, обусловленная сложной и высокозатратной технологией выращивания на ее поверхности вертикально-ориентированных углеродных нанотрубок, а именно технологией осаждения из газовой фазы CVD.

Другой, менее затратный, способ получения фольги с нанопокрытием основан на методе диспергации суспензии, включающей в себя смесь из углеродных нанотрубок и диспергента, из ультразвукового диспергатора. [3] Такая суспензия может быть приготовлена как на основе органических растворителей, так и на водной основе, а углеродные нанотрубки используются одностенные или двустенные. Этот метод позволяет получать покрытие с количеством нанотрубок 10—100 нг/см^2.

Еще один метод нанесения углеродного покрытия на металлическую подложку – магнетронное напыление графита в вакууме. При таком способе получения покрытия толщина пористого слоя углерода может достигать от 0,1 до 1 мкм, а средний размер наночастиц на поверхности 20—60 нм. Следует так же отметить, что данный метод является экологически чистым, так как не предусматривает применение химически опасных реагентов.

В современных суперконденсаторах используется алюминиевая фольга с нанесенным на нее углеродным покрытием. В нашей работе мы предприняли попытку выращивания углеродных наноструктур на поверхности алюминиевой фольги в электрическом разряде. Атомарный углерод образовывался из жидких углеводородов во время разряда. Ускоренные электрическим полем электроны плазмы разбивали молекулы углеводородов и, освободившиеся атомы углерода осаждались на электродах и на алюминиевой фольге.

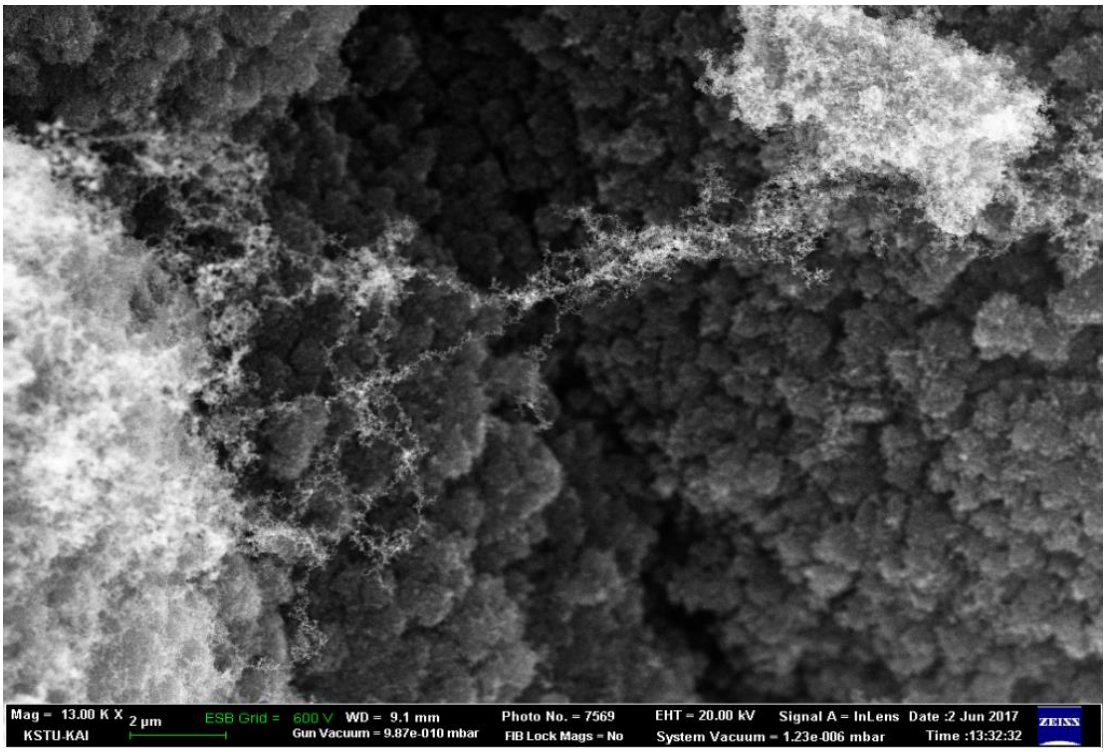


Рис.2. Электронно-микроскопический снимок алюминиевой фольги с нанесенным углеродным покрытием.

На Рис. 2 представлен электронно-микроскопический снимок алюминиевой фольги с нанесенным углеродным покрытием. Для сравнения на Рис.3 представлена обкладка суперконденсатора, изготовленная в Южной Корее. Размер наночастиц на такой фольге варьируется в пределах 20 нм—3 мкм (Рис. 3).

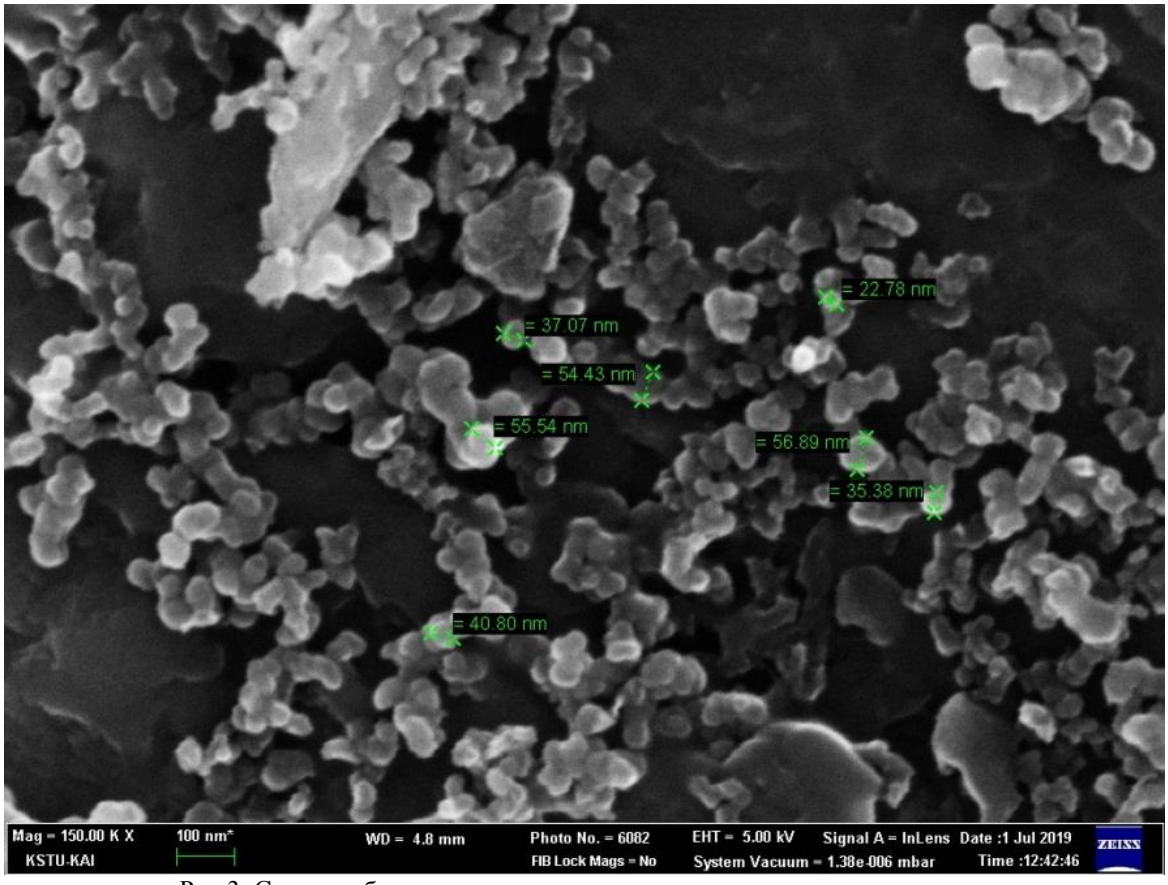


Рис.3. Снимок обкладки суперконденсатора импортного производства.

Измерения выполнены на сканирующем электронном микроскопе марки «Carl Zeiss Auriga Crossbeam» при увеличении в 200 тысяч раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Информационная торговая система «ЭлектроТехИнфо» — режим доступа: http://www.eti.su/articles/electrotehnika/electrotehnika_337.html (Обращение от 25.06.2019)

2. *S.Dörflerab,I.Felhösic,T.Marekc,S.Thiemeab,H.Althuesa,L.Nyikosc,S.Kaskelab.* High power supercap electrodes based on vertical aligned carbon nanotubes on aluminum// Journal of Power Sources , 2013, Vol.227, p. 218-228.

3. Металлическая фольга с проводящим слоем и способ ее изготовления// Патент России №2572840. 2016. Бюл. №2/ *Бобренок О.Ф., Косолапов А.Г., Предтеченский М.Р.*

NANOSTRUCTURED COATINGS COUNTERS FOR SUPERCONDENSATORS

Zyleva M.

Supervisor: B. Timerkaev, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor

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

The paper describes the method of applying nanocoatings of carbon materials on the plates of supercapacitors in an electric discharge.

УДК 533.525

НАНЕСЕНИЕ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ СТАЛИ

Иванова М.Р.

margoshaaamargo2033@mail.ru

Научный руководитель: Б.А. Тимеркаев, д.ф.-м.н., профессор

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В работа описывается вакуумная установка для нанесения алмазоподобного покрытия в высоковольтном разряде. Материалами электродов служили графитовый и стальной стержни. Эксперимент проводился в вакууме. Разряд зажигался путем непосредственного контакта электродов. В результате опыта на металлическом электроде наблюдались наслоения алмазоподобных углеродных наноструктур. Проведены оптические исследования полученных образцов.

Благодаря физико-механическим и химическим свойствам алмазоподобные углеродные (diamond-like carbon, DLC) покрытия представляют огромный интерес в сфере нанотехнологий. Сегодня алмазоподобные покрытия находят своё применение в различных областях физики, химии, техники, биологии и медицины. Алмазоподобные покрытия состоят из атомов углерода, как с алмазоподобными, так и с графитоподобными связями, что существенно повышает ресурс использования изделий с подобным напылением. Такие углеродные покрытия обладают твердостью алмаза и коэффициентом трения графита. срок службы изделий, на которых нанесено такое покрытие, при этом возрастает от 5 до 20 раз.

В данной работе предложен экспериментальный стенд для нанесения алмазоподобных покрытий.

Стенд включает в себя вакуумный шкаф (3), регулируемый высоковольтный источник питания с пределом изменения выпрямленного напряжения до 18 кВ (1), блок балластных сопротивлений (2), измерительную аппаратуру, вакуумирующую систему (6), крепление для электродов и подложки (7). Измерительная аппаратура включает вольтметр (5), U-образный ртутный манометр (4), амперметр (8).

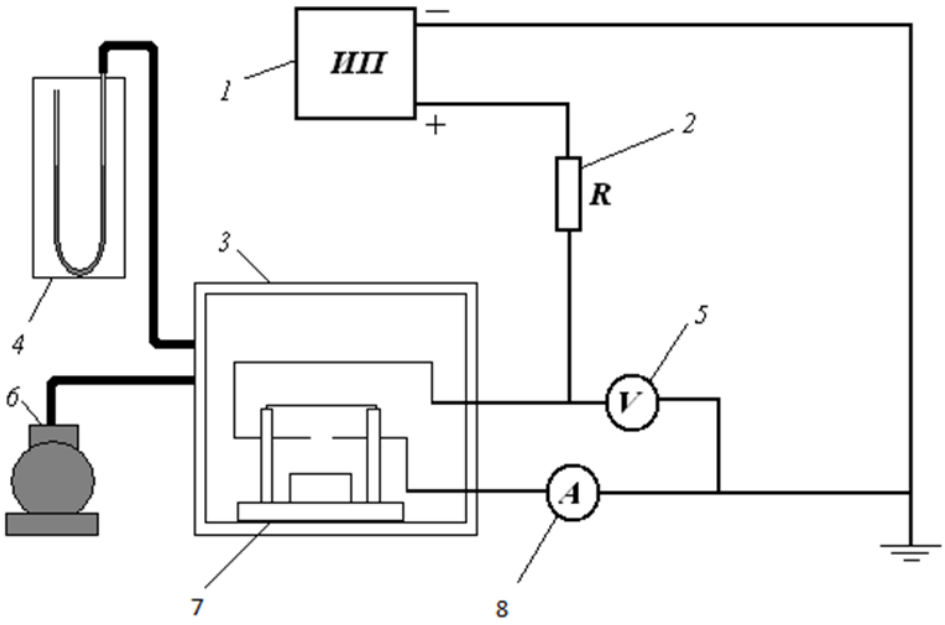


Рис.1. Экспериментальный стенд.

В данной работе в качестве электродов были использованы стальной анод и графитовый катод. Поперечные размеры использованных в работе электродов составляет 1см. До экспериментов поверхность электродов проходила дополнительную механическую полировку. Дополнительно вблизи катода было установлено предметное стекло, на поверхность которого так же наносилось покрытие.

Крепление для получения алмазоподобного покрытия вместе с предметным стеклом помещается в вакуумную камеру. Перед этим камеру необходимо очистить, чтобы добиться чистоты эксперимента и очистить электроды для облегчения зажигания разряда. После помещения установки в камеру включаем вакуумный насос. В ходе эксперимента мы поддерживали давление в камере порядка 5 Торр. Далее мы подаем разность потенциалов на электроды в установке. Напряжение пробоя составляет порядка 2,5 кВ. Исследования проводились при токе 40 мА, а напряжение разряда составляло 500 В. Общее время эксперимента составляло 10 минут. За это время на электродах, а также на проволоке осаждалось заметное количество углеродных образований. Также в камере появился поток летающих углеродных «пылинок». После этого мы немного открываем вентиль, соединяющий камеру и внешнюю среду. Этот процесс не должен быть резким. Через некоторое время давление в камере становится равным атмосферному. Мы открываем камеру и разбираем установку.

Полученные покрытия были изучены при помощи оптического микроскопа кратностью увеличения равной 1000. Снимки представлены на рисунках 2 и 3

На этом рисунке мы видим алмазоподобное покрытие на поверхность стали. На цветной картине отчетливо выделяются синие, красные, желтые, зеленые цвета. Размеры микрочастиц, окрашенных в отдельный цвет, порядка 100 нм. Толщина покрытия зависит от времени нанесения покрытия. В нашем эксперименте за 10 минут толщина покрытия наросла до 300 нм.

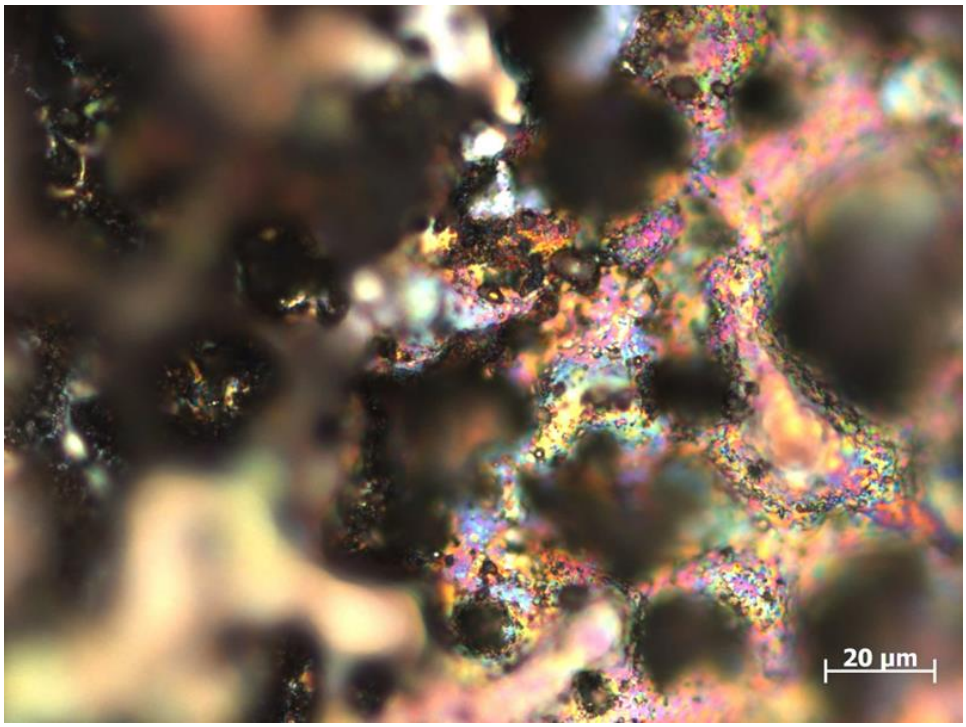


Рис.2. Оптический снимок при размере 20 нм.

На следующем рисунке (Рис.3) представлена микроскопическая фотография этого же образца при меньшем увеличении.

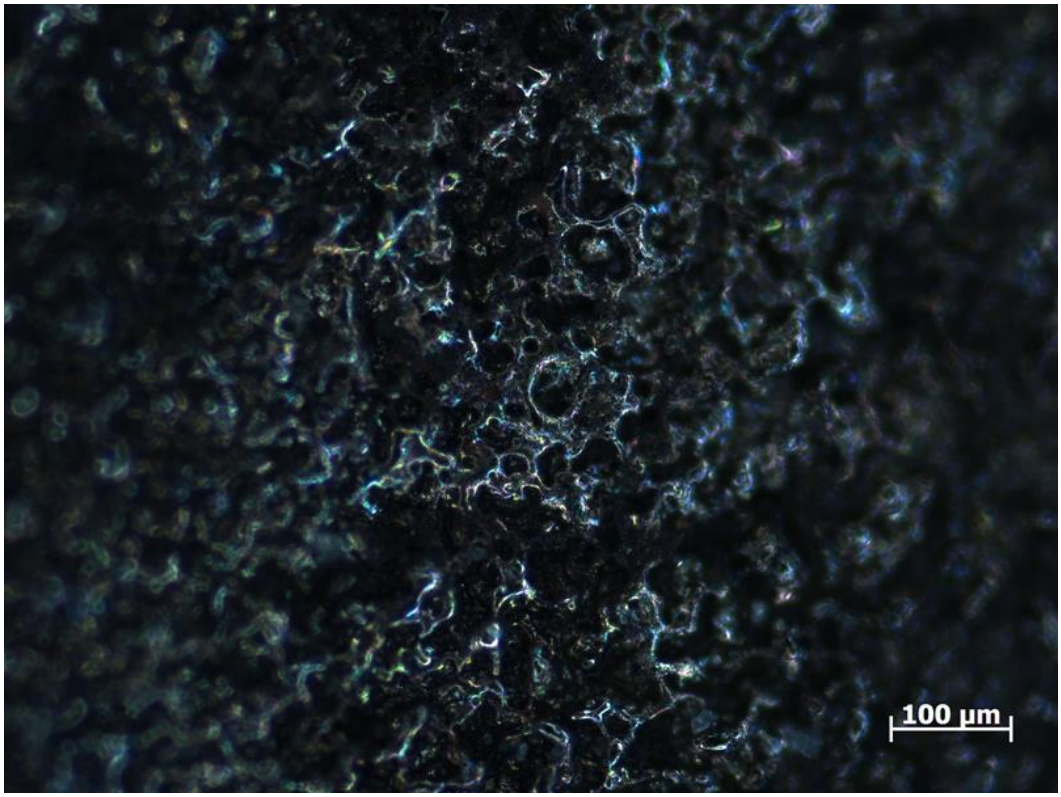


Рис.3. Оптический снимок при размере 100 нм.

Как видно из этого рисунка алмазоподобное покрытие имеет шероховатую структуру с достаточно острыми ребрами, что позволяет использовать его в качестве абразивного материала.

APPLICATION OF DIAMOND-LIKE COATINGS ON THE STEEL SURFACE

Ivanova M.
margoshaaamargo2033@mail.ru
Supervisor: B. Timerkaev, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

The work describes a vacuum unit for applying a diamond-like coating in a high-voltage discharge. Electrode materials were graphite and steel rods. The experiment was carried out in vacuum. The discharge was ignited by direct contact of the electrodes. As a result of the experiment, layering of diamond-like carbon nanostructures was observed on the metal electrode. Conducted optical studies of the samples.

УДК 533.9

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕРМАНИЕВЫХ НАНОСТРУКТУР В ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ

Калеева А.А.
andreeva.anzhelika.a@yandex.ru
Научный руководитель: Б.А. Тимеркаев, д.ф.-м.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В работе описывается опыт синтеза германиевых нанотрубок в электродуговом разряде. Опыт проводится в аргоне при давлении 500 Тор. Материалами электродов служили кристаллический германий и медная пластинка. В результате опыта были синтезированы германиевые нанотрубки. Проведены электронно-микроскопические исследования как морфологии, так и элементный состав полученных образцов. Синтезированные наноструктуры смогут найти применение в литий-ионных аккумуляторах.

Литий-ионные аккумуляторы являются перспективными устройствами, особенно потому, что они экологически безвредны и их можно восстановить и использовать повторно. Большинство производимых аккумуляторов содержат анодные материалы на основе графита с теоретической емкостью хранения 372 мА ч г $^{-1}$ [1]. Тем не менее, графитовые аноды уже не способны удовлетворить растущий спрос на высокопроизводительные аккумуляторы, такого рода как портативные электронные устройства, электромобили и имплантируемые медицинские устройства [2].

Германий является нетоксичным и уже широко используется в солнечных элементах, катализаторах полимеризации, люминофорах, металлургии и химиотерапии [3-4]. Ge имеет относительно высокую теоретическую удельную емкость (около 1600 мА ч г $^{-1}$), что делает его привлекательным для применения в литий-ионных аккумуляторах. Однако основной проблемой при его использовании является его огромное изменение объема (около 230%) в процессе зарядки и разрядки, что ограничивает его применение [5]. Проходящие реакции в аккумуляторах могут вызвать образование пассивного слоя на поверхности анода из Ge, что приводит к огромным потерям емкости, где начальная емкость составляет около 1500 мА ч г $^{-1}$, но после 30 циклов она уменьшается до 50 мАчг$^{-1}$.

Сейчас активно разрабатывают различные способы улучшения электрохимических свойств анода Ge для литий-ионных аккумуляторов, например, использование наноструктурированного германия, пористого анодного материала, покрытия и допинг конструкции или легированного германиевого анода.

Наноструктурированные электроды имеют большую удельную поверхность, которая может увеличить площадь взаимодействия между электродами и электролитом. Это приводит к ускорению обмена ионами и электронами на границе раздела электрод / электролит. Поры внутри электрода также обеспечивают большую площадь поверхности, и быстрый перенос ионов происходит после того, как эти поры заполнены электролитом [6]. Большая площадь поверхности способствует образованию большего количества поверхностных слоев, что увеличивает структурную стабильность и эффективно

предотвращает разложение активных материалов. Это происходит за счет расхода лития, приводящего к низкой кулоновской эффективности и лишь небольшим потерям емкости.

Различные электродные материалы, такие как пористые электроды Ge или GeO_x и пористые композитные электроды Ge-металл или Ge-неметалл, имеют превосходные электрохимические свойства. Сотовидный макро-германий был получен с помощью процесса гидротермального восстановления с использованием GeO_2 при низкой температуре с последующим процессом восстановления [7].

GeO_2 самый дешевый и наиболее доступный источник Ge, который реагирует с Li во время первого процесса литирования, что приводит к необратимому образованию наночастиц Ge, встроенных в матрицу Li_2O, после чего следует обратимая реакция лигирования / разложения Ge в циклическом процессе с теоретической емкостью 1126 мАч*$г^{-1}$ [8-9].

Пористый Ge также можно синтезировать путем восстановления GeO_2 в трубчатой печи с использованием газообразного водорода при 450 °C. Образование Ge сопровождается уменьшением молярного объема [8]. Если температура восстановления ниже температуры спекания Ge, то образуются пористые порошки Ge, а если наоборот, то зерна Ge растут за счет спекания и образуют плотный Ge с удалением пор.

Пористая морфология наряду с наноразмерными зернами в электроде Ge предлагает несколько преимуществ, которые необходимы для применения в аккумуляторах большой мощности. Во-первых, обеспечивают быстрый заряд и разряд по сравнению с объемным материалом. Кроме того, пористые материалы способны приспосабливаться к изменению объема в своих порах, тем самым улучшая механическую целостность в электроде высокой емкости. Даже если плотность отвода пористых материалов Ge может быть ниже, чем у объемных аналогов, электрохимические характеристики пористого Ge могут быть намного выше, поэтому мы предлагаем новый метод синтеза наноструктур германия, для использования в электродах аккумуляторов.

Здесь речь идет о получении наноструктур Ge в электродуговой плазме. Материалами электродов служат кристаллический германий и медная пластинка. Перед проведением экспериментов вакуумная камера откачивается до 10 Тор, а затем заполняется инертным газом. Вакуумная камера должна быть охлаждаемой, так как в дуговом разряде достигаются большие температуры. Зажигание дугового разряда между электродами происходит в течение несколько десятков секунд. Это является достаточным для синтеза образца исследований.

Полученный нарост имеет хрупкую структуру и при малейшем надавливании рассыпается в порошкообразное состояние. У образца кроме исследования морфологии на электронном микроскопе изучался элементный состав, который подтвердил, что полученные пористые структуры полностью состоят из германия.

Таким образом, способы выращивания германиевых наноструктур очень различный. И можно утверждать, что с помощью электрического разряда можно получить наноструктуры Ge с полой морфологией. На формы выращенных наноматериалов оказывает существенное влияние как окружающая газовая среда, так и значение напряженности электрического поля в межэлектродном промежутке. Синтезированные наноструктуры довольно сложной конфигурации, которые смогут найти в дальнейшем широкое применение в литий-ионных аккумуляторах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *T.D. Bogart, A.M. Chockla, B.A.* Korgel Curr. Opin. Chem. Biol., 2 (2013), pp. 286-293.

2. *Y.S. Hu, R. Demir-Cakan, M.M. Titirici, J.O. Muller, R. Schlogl, M. Antonietti, J. Maier* Angew. Chem. Int. Ed., 47 (2008), pp. 1645-1649.

3. *G.H. Wang, C.Y. Shi, L. Zhao, H.W. Diao, W.J. Wang J.* Alloys Compd., 658 (2016), pp. 543-547.

4. *A.D. Collord, H.W. Hillhouse* Chem. Mater., 28 (2016), pp. 2067-2073.

5. *J. Graetz, C.C. Ahn, R. Yazami, B. Fultz J.* Electrochem. Soc., 151 (2004), pp. A698-A702.
6. *Y.Yu, C. Yan, L. Gu, X. Lang, K. Tang, L. Zhang, Y. Hou, Z. Wang, M.W. Chen, O.G. Schmidt, J. Maier* Adv. Eng. Mater., 3 (2013), pp. 281-285.
7. *J. Liang, X. Li, Z. Hou, et al.* Chem. Mater., 27 (2015), pp. 4156-4164.
8. *Y.M Lin, K.C Klavetter, A. Heller , CB Mullins J.* Phys. Chem. Lett., 4 (2013), pp. 999 - 1004.
9. *K.H Seng , M.H Park , Z.P Go , H.K Ly , J. Cho* Nano Lett. , 13 (2013) , pp. 1230 - 1236.
10. *F.-S. Ke, K. Mishra, L. Jamison, X.-X. Peng, S.-G. Ma, L. Huang, et al.* Chem Commun, 50 (28) (2014), pp. 3713-3715.

PROSPECTS OF THE USE OF GERMANY NANOSTRUCTURES IN LITHIUM-IONIC BATTERIES

Kaleeva A.
andreeva.anzhelika.a@yandex.ru
Supervisor: B. Timerkaev, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

This paper describes the experience of the synthesis of germanium nanotubes in an electric arc discharge. The experiment is carried out in argon at a pressure of 500 Torr. The materials of the electrodes were crystalline germanium and a copper plate. In this work, germanium nanotubes were synthesized. Samples were examined with an electron microscope. Studies of the morphology and elemental composition of the samples were carried out. Synthesized nanostructures can be used in lithium-ion batteries.

УДК 533.9

СИНТЕЗ КРЕМНИЕВЫХ НАНОСТРУКТУР ДЛЯ АНОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АККУМУЛЯТОРАХ

Калеева А.А.
andreeva.anzhelika.a@yandex.ru
Научный руководитель: Б.А. Тимеркаев, д.ф.-м.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В работе предлагается метод создания кремниевых наноструктур в электродуговой плазме. Создана экспериментальная установка, состоящая из вакуумной камеры, источника питания и измерительных приборов. В качестве электродов использованы кремний и молибден. Синтез кремниевых нанотрубки происходит на поверхности катода, испарение осуществляется с поверхности кремниевого анода. Кремниевые нанотрубки имеют различные диаметры (порядка 30-50 нм) конфигурации. Кремниевые нанотрубки непосредственно можно использовать в качестве анодов литий-ионных элементов.

В связи с широким распространением литий-ионных аккумуляторов в качестве источника энергии в электромобилях и накопителях энергии в энергетических системах, весьма актуальным является проблемы повышения емкости и срока эксплуатации аккумуляторов. Отметим, что современные литий-ионные батареи теряют работоспособность после 1000 циклов заряда / разряда. В настоящее время многие исследования направлены улучшение работы аккумуляторов, в частности, на поиск более совершенных электродных материалов. Сейчас в аккумуляторных батареях большинства электронных устройств, анод изготовлен из графитового углерода, имеющего удельную емкость около 370 мАч/г.

Кремний (Si) является привлекательным анодным материалом благодаря его теоретической емкости в десять раз выше, чем у обычного графита. Тем не менее, он быстро подвергается потерям емкости из-за большого изменения объема, кроме того, кремний имеет низкую электронную проводимость (при отсутствии примесей) и низкий коэффициент диффузии для ионов лития. Эти недостатки препятствуют использованию кремния в батареях с большой удельной мощностью. То есть из-за способности кремния поглощать больше лития, его объем может увеличиться в четыре раза. Это создает настолько сильную

механическую нагрузку на хрупкий материал, что кремниевые аноды имеют тенденцию растрескиваться после всего лишь нескольких циклов зарядки / разрядки. Использование кремния при создании аккумуляторов ранее считалось невыгодным из-за его разрушаемости при многочисленных циклах работы. Кинетика диффузии Li – вопрос первостепенной важности для механического разрушения кремниевых электродов, потому что это существенно влияет на устойчивость материала к механическим напряжениям во время литиирования, и коэффициент диффузии Li является ключевым параметром, определяющим, насколько быстро в батареи протекает цикл заряда-разряда. Последние исследования доказали, что использование кремния в форме нано- частиц, трубок и проволоки способно предотвратить его деформацию. Ученые показали, что Si нанометровых структур, таких как нанопроволоки [1], полые структуры [2], пористые структуры [3] и тонкие пленки [4] могут приспосабливаться к большим изменениям объема и сохранять высокую емкость. Однако большинство этих наноструктур изготавливаются с помощью сложных процессов с использованием дорогих и / или небезопасных исходных материалов.

На сегодняшний день изготовлено и охарактеризовано несколько различных видов кремниевых нанотрубчатых структур. Производительность анода из кремниевой нанотрубки зависит от формы используемых наноструктур. Наиболее эффективными считаются те, которые выглядят как пучок полых соломинок. Это обеспечивает большую площадь поверхности внутри и, следовательно, большую площадь для взаимодействия лития. Кроме того, поскольку форма обеспечивает дополнительное пространство для расширения и сжатия кремния, происходит уменьшение механической нагрузки, возникающей при зарядке и разрядке батареи.

В работе, которую мы проводим, предлагается метод создания кремниевых наноструктур в электродуговой плазме, при котором, происходит испарение материала анода и его последующая сборка на катоде. Для создания кремниевых наноструктур в дуговом разряде была собрана экспериментальная установка, которая состоит из охлаждаемой вакуумной камеры, источника питания и измерительных приборов. В качестве электродов электродуговой установки были установлены кремний и вольфрам. Было проведено несколько опытов в различных условиях. Менялись параметры напряжения, межэлектродного расстояния, среды зажигания дугового разряда[5].

Достигнута высокая эффективность синтеза кремниевых наноструктур различной конфигурации в электродуговой плазме. В образце исследований получены кремниевые нанотрубки диаметрами порядка 30-50 нм [6]. Структура роста наноматериалов, зависит от параметров эксперимента, но они всегда обладают повышенной прочностью. Кремниевые наноструктуры непосредственно можно использовать в качестве анодов литий-ионных элементов.

Однако, показатели производительности чистого Si ограничены из-за его низкой проводимости. Одним из основных методов модификации электрохимических свойств электродных материалов является допирование. Поскольку атомы легирующей примеси предпочтительно остаются на поверхности наноматериалов, основной упор делается на повышение поверхностной интеркаляции лития при помощи легирования.

Гибридизация наноразмерного Si с наноструктурами на основе углерода, такими как например углеродные нанотрубки или графеновые пленки, может повысить производительность и скорость циклирования [7-8]. Наночастицы Si объеденные с углеродными нанотрубками демонстрируют повышенную стабильность при зарядке / разрядке [9]. Покрытый графеном композит кремния с углеродными нанотрубками может препятствовать расслаиванию наночастиц кремния от электрода, тем самым уменьшая потери электрического контакта и стабилизируя структурную целостность электрода [10]. В системах Si / C наноразмерный Si обычно контактирует с углеродными наноструктурами в определенных точках, что может привести к потере контакта с углеродом после многократного легирования, это приводит к быстрому снижению емкости [11,12]. Кроме того, наночастицы Si с большой площадью поверхности неизбежно подвергается прямому

воздействию электролита, что приводит к образованию нестабильной пленки на поверхности электрода [13]. В общем, идеальный Si / C композит для анодов литий ионных аккумуляторов должен обладать хорошей структурной целостностью, быстрыми электрическими путями, а также эффективной электрохимической защитой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *C.K. Chan, H.L. Peng, G. Liu, K. McIlwrath, X.F. Zhang, R.A. Huggins, Y. Cui,* High-performance lithium battery anodes using silicon nanowires, Nat. Nanotechnol. 3 (2008) pp. 31-35.

2. *H. Wu, G. Chan, J.W. Choi, I. Ryu, Y. Yao, M.T. Mcdowell, S.W. Lee, A. Jackson, Y. Yang, L. Hu, Y. Cui,* Stable cycling of double-walled silicon nanotube battery anodes through solid e electrolyte interphase control, Nat. Nanotechnol. 7 (2012) pp. 310-315.

3. *T. Wada, J. Yamada, H. Kato,* Preparation of three-dimensional nanoporous Si using dealloying by metallic melt and application as a lithium-ion rechargeable battery negative electrode, J. Power Sources 306 (2016) pp. 8-16.

4. *T. Takamura, S. Ohara, M. Uehara, J. Suzuki, K. Sekine,* A vacuum deposited Si film having a Li extraction capacity over 2000 mAh/g with a long cycle life, J. Power Sources. 129 (2004) pp. 96-100.

5. *B.A. Timerkaev , A.A. Andreeva* Technology of growing silicon nanotubes // Journal of Physics: Conf. Series, 1058 (2018) 012071 doi :10.1088/1742-6596/1058/1/012071.

6. *Б.А. Тимеркаев, Б.Р. Шакиров, А.А. Калеева, В.С. Фельцингер,* Формирование кремниевых наноструктур в электрическом разряде, Вестник КГТУ им.А.Н.Туполева. 1 (2019) с. 37 – 41.

7. *M.R. Su, H.F. Wan, Y.J. Liu, W. Xiao, A.C. Dou, Z.X. Wang, H.J. Guo* Multi-layered carbon coated Si-based composite as anode for lithium-ion batteries, Powder Technol., 323 (2018), pp. 294-300.

8. *X.J. Feng, J. Yang, Y.T. Bie, J.L. Wang, Y.N. Nuli, W. Lu* Nano/micro-structured Si/CNT/C composite from nano-SiO2 for high power lithium ion batteries, Nanoscale, 6 (2014), pp. 12532-12539.

9. *C. Martin, O. Crosnier, R. Retoux, D. Bélanger, D.M. Schleich, T. Brousse* Chemical coupling of carbon nanotubes and silicon nanoparticles for improved negative electrode performance in lithium-ion batteries, Adv. Funct. Mater., 21 (2011), pp. 3524-3530.

10. *Y.L. Chen, Y. Hu, Z. Shen, R.Z. Chen, X. He, X.W. Zhang, Y. Zhang, K.S. Wu* Sandwich structure of graphene-protected silicon/carbon nanofibers for lithium-ion battery anodes, Electrochim. Acta, 210 (2016), pp. 53-60.

11. *J. Wu, X. Qin, H. Zhang, Y.B. He, B. Li, L. Ke, W. Lv, H. Du, Q.H. Yang, F.* Kang Multilayered silicon embedded porous carbon/graphene hybrid film as a high performance anode, Carbon, 84 (2015), pp. 434-443.

12. *B. Koo, H. Kim, Y. Cho, K.T. Lee, N.S. Choi, J. Cho* A highly cross-linked polymeric binder for high-performance silicon negative electrodes in lithium ion batteries, Angew. Chem., 124 (2012), pp. 8892-8897.

13. *Z. Shen, Y. Hu, Y.L. Chen, X.W. Zhang, K.H. Wang, R.Z. Chen* Tin nanoparticle-loaded porous carbon nanofiber composite anodes for high current lithium-ion batteries, J. Power Sources, 278 (2015), pp. 660-667.

SYNTHESIS OF SILICON NANOSTRUCTURES FOR ANODIC ELEMENTS IN BATTERIES

Kaleeva A.

andreeva.anzhelika.a@yandex.ru

Supervisor: B. Timerkaev, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor

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

The paper proposes a method for creating silicon nanostructures in an electric arc plasma. An experimental setup

has been created, consisting of a vacuum chamber, a power source and measuring instruments. Silicon and molybdenum are used as electrodes. Synthesis of silicon nanotubes occurs on the surface of the cathode, evaporation is carried out from the surface of the silicon anode. Silicon nanotubes have different diameters (about 30-50 nm) configuration. Silicon nanotubes can be used as anodes of lithium-ion cells.

УДК 537.5

КОНСТРУИРОВАНИЕ КАТУШКИ ТЕСЛА

Копп Д.О., Масагутов А.А.
dimasclashx@gmail.ru, хехе.хехехе@inbox.ru
Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В статье описывается процесс сборки трансформатора Тесла, ход работы, подбор материалов, а также принцип его работы, применение и устройство.

В школе мы сталкивались с именами людей, которые вошли в историю за свои заслуги и достижения – Альберт Эйнштейн, Бенджамин Франклин, Томас Эдисон, Никола Тесла. Некоторые из их изобретений по популярности идут впереди имён создателей. Например, изобретателем громоотвода является именно Франклин, а шар с молниями, который используют в качестве эффектной декорации, есть не что иное, как трансформатор или катушка Тесла.

Данное изобретение Николы Тесла является достаточно интересным объектом для изучения, так как оно совмещает в себе сразу несколько законов физики [1-3].

Итак, что же представляет собой катушка Тесла и в чём её суть? На самом деле, это не что иное, как резонансный трансформатор, предназначенный для повышения напряжения. Но данный вид трансформатора выделяется среди других тем, что имеет иной принцип работы, а также возможность метать различные разряды, например дуговые, искровые, коронные, а также стримеры, все вылетают без вреда для окружающей среды [4-6].

Сборка катушки - трудоёмкий, но интересный процесс, позволяющий на практике освоить сразу несколько законов физики.

Перед сборкой необходимо изучить строение самого трансформатора. Он включает в себя тороид, две обмотки (первичную и вторичную), защитное кольцо, конденсатор, разрядник и заземление.

Тороид – геометрическая фигура, имеющая форму бублика. Он предназначен для уменьшения резонансной частоты, накопления энергии перед образованием стримера (т.е. разряда), а также для создания электростатического поля, цель которого – изолировать вторичную обмотку от стримера.

Вторичная обмотка – основная часть трансформатора, которая состоит из ПВХ трубы и от 800 намотанных на неё витков. Витки имеют свойство расползаться, поэтому, чтобы это предотвратить, их покрывают лаком.

В роли первичной обмотки обычно выступает металлическая труба или провода, сечение которых более 6 мм, так как она должна иметь низкое сопротивление потому, что по ней идёт большой ток.

Защитное кольцо – незамкнутый виток заземленного медного провода. Оно необходимо для того, чтобы разряды, выходящие из тороида, не вывели из строя электронику.

Общее заземление необходимо для того, чтобы стримеры не били в катушку и тем самым не замыкали цепь.

Принцип работы данной катушки заключается в следующем: к первичной обмотке подводится переменное напряжение, за счет чего появляется магнитное поле. За счет него энергия первичной обмотки передаётся во вторичную, которая вместе с конденсатором образует колебательный контур, накапливая эту энергию. В различных ресурсах для

объяснения принципа работы приводят аналогию с качелями, где вторичная обмотка – сами качели, первичная обмотка- человек, толкающий эти качели и полученное напряжение – высота подъема этих качелей. То есть, чем больше энергии первичная обмотка передаст вторичной – тем большее напряжение, а значит, и большие разряды мы получим на выходе. И что самое интересное, их мощность ограничена только одним параметром – электрической прочностью воздуха.

Процесс сборки данной установки является не менее интересным, чем принцип её работы. Самый, скажем так, приятный момент, заключается в том, что необходимые детали для катушки существуют в разном виде и имеют массу аналогов, поэтому собрать её можно в различных вариациях. Для начала следует изготовить вторую обмотку. Для этого мы закрепляем один край провода на конце трубы, а затем начинаем наматывать его, равномерно и без зазоров, после чего покрываем её лаком. Далее необходимо подготовить основание: это может быть доска, фанера или обычный лист пластика, самое главное, чтобы оно было диэлектрическим. На него необходимо установить металлический фланец. Потом делаем первичную обмотку: скручиваем спиралью и закрепляем на основании. Концы трубки необходимо вывести под основание, предварительно просверлив для них отверстия. Обмотки не должны соприкасаться. Затем изготавливаем разрядник – помещаем 2 болта в деревянную рамку. Конденсаторы также можно изготовить в домашних условиях, нам потребуется стеклянные бутылки, фольга и соль. Бутылка обматывается фольгой и засыпается солью. Состав должен быть одинаков для всех бутылок. После этого мы пробиваем дырки в крышках и всё – конденсаторы готовы. Далее мы соединяем все элементы, обязательно заземлив вторичную обмотку, в которой должно быть от 800 до 1600 витков, в первичной – от 6 до 10.

Рассмотрим проектирование катушки Теслы подробнее, на примере модели SSTC мощностью 3кВт, потому что она более безопасна по сравнению с катушкой, в которой используются трансформатор и искровик (разрядник), т.к. такая катушка рассчитана на более высокое напряжение. Наша схема питается напрямую от бытовой электрической сети переменного тока, напряжением 220 вольт. Начинаем изготовление вторичной обмотки. В качестве сердечника использовали пластиковую трубу диаметром 50 мм. На нее намотали около 1300 оборотов медного провода диаметром 0.2 мм. Для большей эффективности вторичную обмотку следует намотать равномерно по всей площади сердечника в 1 слой без зазоров. Начинаем изготавливать первичную обмотку. Первичная обмотка может быть сделана из медной многожильной проволоки толщиной 2.5 мм. В качестве каркаса использовался цилиндр из плотного картона диаметром 100 мм. Было сделано 11 витков и для подсоединения к электрической схеме с помощью клеммой коробки оставлены отводы по 100 мм с каждой стороны. Каркасы первичной и вторичной обмотки были жестко закреплены соосно на подставке из деревянной фанеры толщиной 10 мм. В нашем случае электрическая схема будет выглядеть следующим образом (рис.1.).

После соединяем диодный мост и конденсаторы навесным монтажом, все выводы изолированы термоусадочной трубкой, также закрепляем резисторы и стабилитроны на коммутационной плате. Полевой транзистор закрепляем на отдельном радиаторе с использованием термопасты для наилучшего охлаждения. Так как схема работает напрямую от напряжения 220 В, все контакты нужно тщательно заизолировать, соединение через коннекторы установлено на 30А. После сборки установки её, очевидно, необходимо проверить на работоспособность. В качестве предосторожности перед включением стоит убрать все электронные приборы. Если при запуске отсутствуют разряды, следует поднести люминесцентную лампу или лампу накаливания. При отсутствии свечения лампы выводы первичной катушки следует поменять местами (рис.2.)

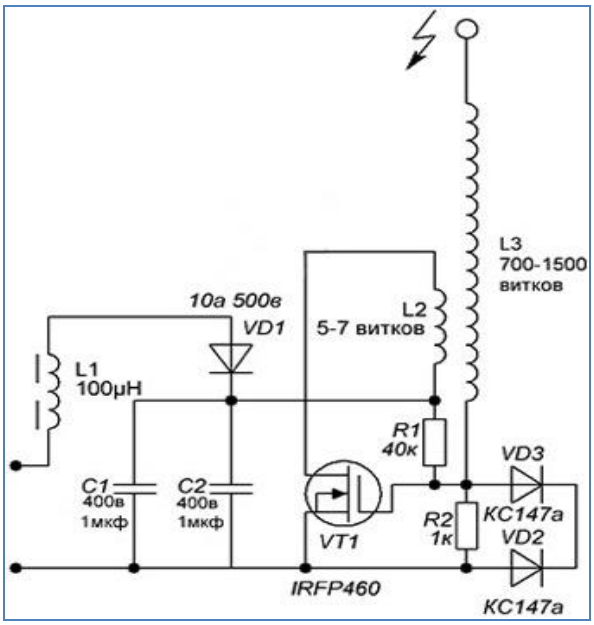


Рис.1. Электрическая схема генератора



Рис.2. Свечение катушки Тесла.

Если мы добились результата, можно сказать, что цель выполнена. Успешный опыт является показателем того, что мы изучили устройство катушки Тесла, смогли правильно её построить, а также разобрали различные законы электрофизики.

Трансформатор использовался Теслой для генерации и распространения электрических колебаний, направленных на управление устройствами на расстоянии без проводов (радиоуправление), беспроводной передачи данных (радио) и беспроводной передачи энергии [7,8].В начале двадцатого века трансформатор Тесла также нашёл популярное использование в медицине. Пациентов обрабатывали слабыми высокочастотными токами, которые протекая по тонкому слою поверхности кожи не причиняли вреда внутренним органам, оказывая при этом «тонизирующее» и «оздоравливающее» влияние, но в тоже время постоянное влияние высокочастотных токов, негативно влияет на здоровье.

В будущем генератор Тесла может активно использоваться для усовершенствования процесса переработки бытовых отходов в электроэнергию. Это особенно актуально сейчас, когда в мире заканчиваются места для хранения мусора. В такой ситуации очень актуальным будет универсальный источник тока, который сможет перерабатывать любую газообразную субстанцию в электрическую энергию, имея при этом высокий КПД. Этим аппаратом может стать Генератор Тесла. Сегодня выпускаются газогенераторы, перерабатывающие любые виды отходов в дым или газ. В последующем этот дым может быть использован для получения электроэнергии. Предполагается, что в перспективе на основе генераторов Тесла будут работать целые электростанции, перерабатывающие газовые субстанции. В итоге

получается очень экономичный способ получения большого количества энергии без существенных финансовых затрат. То есть, получается экономичный источник энергии, которые одновременно будет сжигать остатки органических отходов. Поэтому, вполне возможно, что в будущем возле каждого города будут стоять трансформаторы Тесла, которые будут обеспечивать их жителей энергией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Юнусов Р.Ф.* Дистанционный курс общей физики// Необратимые процессы в природе и технике. Труды девятой Всероссийской конференции МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, Ч. II, С. 177-180.

2. *Юнусов Р.Ф.* Дистанционный курс «Электродинамика»// Необратимые процессы в природе и технике. Труды девятой Всероссийской конференции МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, Ч. II, С. 181-184.

3. *Юнусов Р.Ф.* Электронный курс «Электродинамика» // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли – АКТО-2016. Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в двух томах. Казань, 2016. С. 1020-1024.

4. *Юнусов Р.Ф.* Значение шара Тесла для понимания явлений газового разряда// Вестник Казанского государственного университета им. А.Н. Туполева. 2017. Т. 73. № 3. С. 5-9

5. *Шакиртов А.И., Гарипов М.М.* Коронный разряд между иглой и плоскостью// Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 304-307.

6. *Шарипов С.З., Дербышев А.П.* Электричество в природе// Наука в движении: от отражения к созданию реальности. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Электронное издание). Под общей редакцией М.Ш. Гарифуллиной. 2016. С. 79-85.

7. *http://ekowheel.com/blog/elektrodvigatel/tesla-gen*

8. *https://elquanta.ru/generatory/generator-tesla-ehnergii.html*

MANUFACTURING OF THE TESLA COIL

D. Kopp, A. Masagutov

Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

The article describes the process of assembling a Tesla transformer, the course of work, the selection of materials, as well as its principle of operation, application and design.

УДК 621.383

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОГО АНТИОТРАЖАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Кузнецова В.В.

smailshka1998@mail.ru

Научный руководитель: С.В. Спиридонов, старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Данная работа посвящается разработке специального антиотражающего покрытия для повышения эффективности работы солнечной батареи. В результате работы выявлены факторы, влияющие эффективность отражения и поглощения падающих лучей. Представлен вариант создания многослойного покрытия, способствующего повышению эффективности работы солнечной батареи.

Солнечная энергия – возобновляемый, неисчерпаемый, чистый и надёжный источник энергии, который используется как для получения электрической, так и тепловой энергии. Солнечная батарея – один из генераторов альтернативных видов энергии, превращающих солнечное излучение в электричество. Действие солнечных элементов основано на использовании явления внутреннего фотоэффекта, в результате которого солнечные батареи генерируют напряжение на токосъёмных электродах.

На сегодняшний день самым распространённым видом солнечных элементов являются поли- и монокристаллические ячейки. Они занимают до 95% объема производства всех солнечных элементов в мире. Тем не менее, они обладают достаточно низкой эффективностью (менее 20%). Отчасти это связано с сильным отражением света от поверхности батареи. Поэтому был разработан ряд методов для повышения эффективности поглощения света панелями. Основное направление этих методов связано с концентрацией света. Для реализации этой цели были разработаны специальные устройства, называемые солнечными концентраторами.

Различают три принципиальных вида солнечных концентраторов. Это стационарные отражательные системы, электромеханические устройства слежения за положением солнца и специальные антиотражающие покрытия. Стационарные отражательные системы позволяют концентрировать солнечный свет с больших площадей вне зависимости от текущего положения солнца. Но при этом их монтаж и эксплуатация связаны с значительными экономическими затратами. Кроме того, данный тип концентраторов требует больших площадей и отличаются низкой надежностью при частых ветровых нагрузках. Устройства слежения за положением солнца позволяют решить проблему необходимости больших площадей, но также дороги в эксплуатации и ненадежны вследствие применения движущихся механических узлов. Наиболее перспективным видом солнечных концентраторов являются антиотражающие покрытия. Они лишены всех недостатков предыдущих двух типов и при этом достаточно экономически эффективны.

Целью данной работы является разработка специального антиотражающего покрытия, способствующего повышению эффективности работы солнечной батареи. Для достижения данной цели была поставлена задача разработки и обоснования конструкции солнечных элементов с применением многослойных антиотражающих и переизлучающих покрытий. Повышение эффективности предполагается за счет снижения количества отраженных боковых лучей. Данный эффект достигается путем применения специального структурированного антиотражающего защитного покрытия.

Для повышения эффективности работы солнечной батареи предлагается использовать многослойные покрытия, в которых каждый слой позволяет снизить тот или иной вид потерь. Подобные конструкция уже применяются в реальных приложениях, но они обладают рядом существенных недостатков. На рисунке ниже представлена конструкция одного из видов таких покрытий. Как можно заметить слой флуоресцента и защитного покрытия наносится на слой кремния, что выгодно с точки зрения технологической сложности создания таких покрытий. Недостатком же их является высокие потери флуоресцирующих лучей. Так как в качестве защитного слоя используется тонкая пленка, то не создается преграды для выхода из структуры всех лучей направленных от плоскости флуоресцентного покрытия. Результирующие потери при такой конструкции достигают 50%. С учетом достаточно низкого квантового выхода флуоресцентных материалов суммарная эффективность флуоресцирующего покрытия (ФП) снижается до 35-40%.

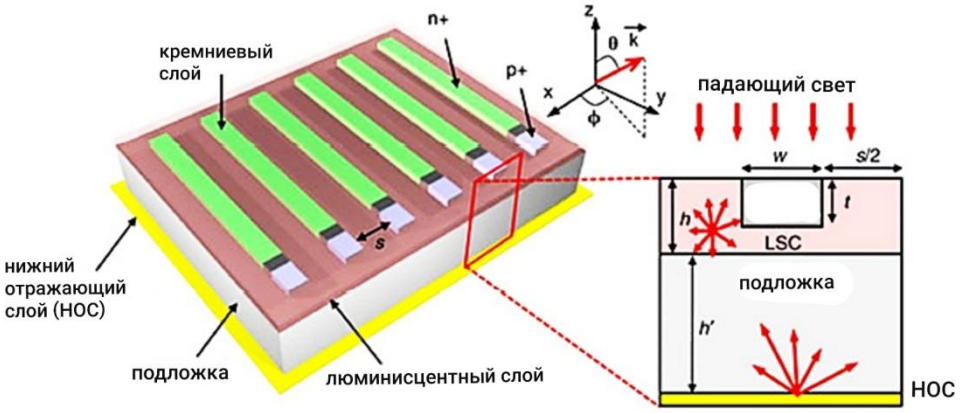


Рисунок 3. Пример конструкции с люминесцирующим слоем.

Еще один пример многослойной конструкции с флуоресцирующем слоем представлен на рисунке ниже.

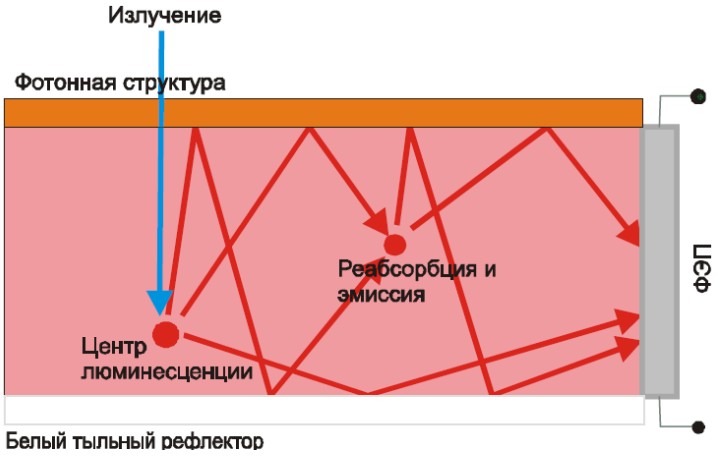


Рисунок 4. Принцип действия фотонных структур.

За счет подбора материала антиотражающего покрытия достигается высокий эффект переотражения между люминесцирующем слоем и защитным покрытием. Кроме того, такая конструкция обеспечивает множественные переотражения внутри флуоресцентного слоя и высокую эффективность переизлучения. К недостаткам же относят невозможность создания такой конструкции но уже готовых кремниевых панелей и низкую эффективность по отношению к массе этой конструкции.

В работе предполагается совместить основные достоинства каждой конструкции. Разработана следующая схема многослойного покрытия.

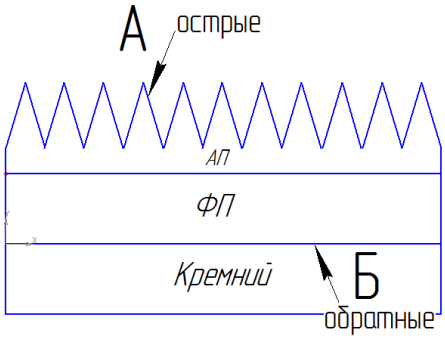


Рисунок 5. Схема многослойного покрытия.

Преимуществом данной конструкции является возможность ее нанесения на уже готовые кремниевые панели и высокая эффективность захвата солнечных лучей. Антиотражающие покрытия используются как для снижения отражения падающих лучей, так и переотражения лучей внутри конструкции. Это позволяет значительно более эффективно использовать флуоресцентный слой и снизить количество потерь. Флуоресцирующий слой подобран таким образом, чтобы обеспечивать максимум переизлучения света в диапазоне 350-700 нм (в котором у кремния низкая эффективность) в диапазон 700-1200 нм (эффективность у кремния высокая).

Для снижения отражения применяют специальные покрытия со структурированным рельефом. В связи с возможностью промышленного производства и достаточно высокой эффективностью в работе в качестве антиотражающего покрытия был выбрано покрытие с рельефом в виде конусообразных или пирамидальных образований.

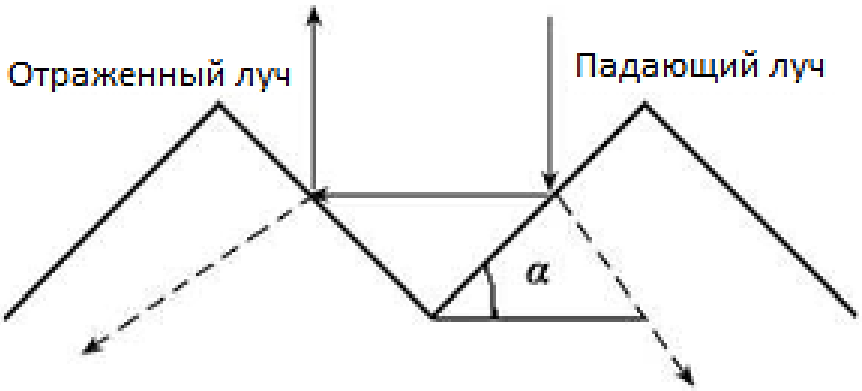


Рисунок 6. Рельеф в виде пирамидальных образований.

Такая структура обеспечивает снижение количество отраженных лучей до 2-5%. Преимуществом данной структуры является хорошо известный математический аппарат для расчетов и относительная технологическая простота изготовления.

Первой задачей при проектировании данного покрытия был выбор рельефа и характерных размеров элементарной ячейки составляющую структурированную поверхность. В качестве возможных вариантов рельефа были рассмотрены следующие поверхности: ячейки в виде правильного конуса, а также в виде пирамид с треугольным, квадратным и шестиугольным основаниями.

Согласно опубликованным исследованиям[1] наиболее эффективными вариантами являются пирамидки с треугольным и четырехугольным основанием. При таких основаниях достигается наилучшая плотность упаковки пирамидок и наименьшее число переотраженных лучей.

На этом основании в качестве элементарной ячейки структурированного рельефа была выбрана пирамидка с квадратным основанием. Кроме того, в данных работах [1]

утверждается, что увеличение расстояния между соседними пирамидками приводит к ухудшению антиотражающих свойств.

Для проектирования эффективного антиотражающего покрытия необходимо рассчитать зависимость количество отраженных лучей от угла наклона граней пирамиды. Кроме того, требуется оценка влияния длины основания на эффективность светопоглощения и материала.

Расчет угла граней пирамиды основывалось на уравнениях геометрической оптики. В основе этих расчетов лежит графической построение падающих, преломленных и отраженных лучей (включая вторичные лучи) с учетом различных коэффициентов преломления.

Пример построения хода лучей представлен на следующем рисунке:

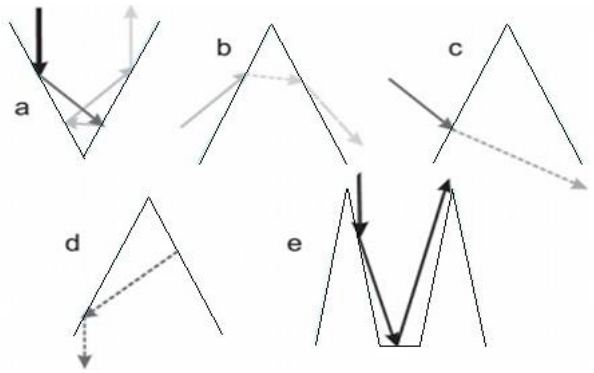


Рисунок 7. Примеры хода лучей в структурах с разным рельефом.

Для определения оптимальных углов были произведены построения и расчеты при углах падения на покрытие 15, 30, 45, 60, 75, 90 градусов. Такой набор характерных углов достаточен для оценки хода лучей через структуру и ее антиотражающих свойств. Рассмотрены углы наклона граней 50, 55, 60, 65, 70, 75 градусов. Выбор более тупых углов не оптимален с точки зрения поглощения лучей с углом падения более 30 градусов, так как происходит почти полное их отражение. Применение более острых угол вызывает эффекты интерференции между соседними пирамидами, что требует отдельного расчета. Построения производились для материалов с коэффициентами преломления 1.5, 2, 3.

Для оценки влияния материала был рассмотрен ход лучей через структуру при одинаковых углах наклона граней и углах падения лучей, но разных показателей преломления.

Расчет эффективности антиотражающего покрытия производился на основе оценки количества лучей, прошедших в структуру и достигших флуоресцентного слоя к количеству лучей, отразившихся обратно в пространство. Также при расчете учитывалась интенсивность преломлённых и отраженных лучей. Для каждого случая построение предполагало учет всех производных лучей до тех пор, пока не определялось попадание луча в структуру, либо его выход из структуры.

С целью оценки влияния углов наклона грани, были рассчитаны углы преломления падающих лучей с шагом в 5 градусов и показателями преломления 1.5, 2 и 3

Согласно сравнительному анализу и построениям при разных углах наклона можно сделать вывод, что увеличение наклона граней приводит к снижению количества отраженных лучей. Среди рассмотренных углов наклона граней наиболее эффективным является наклон 75 градусов.

Анализ влияния показателя преломления (n) на эффективность антиотражающих покрытий привел к следующему результату. При использовании материала n=1.5 и угла наклона граней 75 среднее количество отраженных лучей составило 0,6 процентов. При использовании материала n=2.5 и угла наклона граней 75 среднее количество отраженных лучей составило 0,3 процентов. Согласно данной зависимости изменение n на единицу приводит к снижению интенсивности отраженного света в два раза. Следовательно, для

улучшения антиотражающих свойств покрытия целесообразней использовать материал с наибольшим показателем преломления.

Выбор материала для проектируемого многослойного покрытия основывался на целом ряде критериев. Для люминесцирующего слоя учитывались: показатель преломления, диапазоны поглощения и флуоресценции, квантовый выход в заданном диапазоне, технологическая доступность материала. Критериями для выбора антиотражающего покрытия служили: показатель преломления, возможность формирования заданной геометрии поверхности, механическая и химическая устойчивость, экономическая доступность. Выяснилось, что наиболее выгодно использовать материал с наиболее высоким показателем преломления ZnS и TiO_2. Оба материала удовлетворяют необходимым требованиям по показателям преломления, механической и химической стойкости, а также оптическим свойствам. Сульфид цинка обладает лучшей светопропускающей способностью, более доступен, но обладает меньшей механической и химической стойкостью. Таким образом, для солнечных батарей, эксплуатируемых в тяжелых климатических условиях, наиболее оптимальным является покрытие из диоксида титана. Для остальных случаев экономически, более оправданным будет покрытие из сульфида цинка.

Толщина люминесцирующего слоя подбирается исходя из следующих требований: в области высокой чувствительности кремниевой пластины степень прозрачности флуоресцирующий слоя (ФС) должен превышать 80%, в то же время в области частот плохо поглощаемым кремнием эффективность поглощение флуоресцента должна быть максимальна. Согласно статье [2] наибольшая эффективность переизлучения наблюдается при толщине CdTe слоя 400 нм. При этом прозрачность пленки в области чувствительности кремния составляет 80%. Для увеличения прозрачности толщину пленки требуется сократить до 200-300 нм. В этом случае обеспечивается прозрачность свыше 93% и сохранение достаточно высокого поглощения (свыше 65%) в диапазоне, где кремний обладает низкой чувствительностью.

Выводы

Оценочный расчет эффективности применения разработанного многослойного покрытия показал, что использование данного покрытия значительно снижает потери на отражение света. Кроме того, использование покрытия позволяет частично компенсировать потери в области низкой чувствительности кремния. Суммарная оценка повышения эффективности по сравнению со стандартным защитным покрытием оценивается в 7,8%, что составляет почти 50% от исходной эффективности кремниевой батареи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Дейнега, А.В.* Численное моделирование и компьютерный дизайн оптических свойств наноструктурированных материалов// дис. … канд. техн. наук. / *Дейнега А.В.* – Москва, 2010.

2. *Хрипунов, Г.С.* Гибкие солнечные элементы ITO/CdS/CdTe/Cu/Au с высокой удельной мощностью / *Г.С. Хрипунов, Б.Т. Бойко.* - Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». – Украина. - 2004.

DEVELOPMENT OF SPECIAL ANTI-REFLECTIVE COATING FOR PHOTOVOLTAICS APPLICATIONS

Kuznetsova V.

smailshka1998@mail.ru

Supervisor: S. Spiridonov, Senior Lecturer

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

This work is devoted to the development of a special anti-reflective coating for improving the efficiency of silicon solar cells. There are revealed the basic factors affecting of the reflectance and absorption of incident light. The anti-reflective multi-layer coating construction is proposed to increasing the efficiency of the solar cells absorption.

УДК 621.3

РОЛЬ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Латыпов Э.Р.
emil_latipov@mail.ru
Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Электроника является быстроразвивающейся отраслью промышленности, которая способна облегчить и упростить жизнь человечества. Совсем недавно ученные открыли «нанотехнологии» и стали внедрять их в устройства. Это позволило совершить прорыв в электронике и создать компоненты с большей производительности.

В наше время бурное развитие получили различные виды устройств. Постепенно человечество стало переходить от огромных размеров электронных вычислительных машин, имеющих малую производительность, до компактных персональных компьютеров, отвечающих многочисленным требованиям потребителя. Первая машина, созданная людьми, называлась ENIAC, которая была сложна и неудобна в эксплуатации.

В 1949 году была построена первая ЭВМ, которая занимала меньше места и могла выполнять больше операций. В 1973 году был выпущен первый персональный компьютер, имеющий эксплуатационные характеристики бытового прибора и универсальные функциональные возможности. Все развитие компьютеров и электроники в целом, привело к уменьшению размеров компонентов и увеличению их быстродействия. Это было достигнуто определенными разработками и методами.

В XXI веке многие компании, производящие компьютерные процессоры пришли к их минимальным размерам (10-11 нанометров), дальнейшее уменьшение делает почти невозможным контроль над движением электронов внутри каналов. Чтобы уменьшить данный размер используют нанотрубки из графена [1,2]. Благодаря этим нанотрубкам, инженерам удалось создать транзистор, длиной не более 9 нанометров, превосходящий по техническим характеристикам кремневые транзисторы.

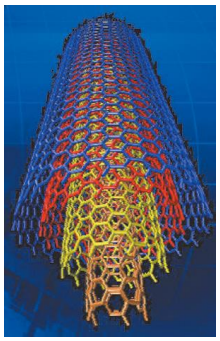


Рис.1. Форма нанотрубки

Благодаря углеродным нанотрубкам удалось достичь больших успехов в электронике. Они могут придать меньший размер транзисторам, гибкость и прозрачность электронным компонентам. Гибкость позволяет сгибать устройство без потери его свойств. Таким образом, можно представить, что в скором времени мы сможем носить компьютер в грудном кармане и при необходимости воспользоваться им. Благодаря прозрачности, можно передавать свет через непрозрачные материалы. Также в зависимости от скрученности нанотрубки, она может обладать электронной проводимостью, обладая запрещающейся зоной от нескольких десятых до единиц электрон-вольт. С уменьшением диаметра нанотрубки (рис.1.) увеличивается ширина запрещающейся зоны.

Однако нельзя забывать и про трудности, с которыми придется столкнуться, используя углеродные нанотрубки: наиболее важной проблемой является их синтез и цена производства по сравнению с обычными кремневыми транзисторами.

В наши дни для создания микропроцессоров всё чаще используют литографию, позволяющую уменьшить размер устройства:данный процесс основан на проецировании света электрической схемы на кремневую подложку. Современные чипы создают с использованием ультрафиолетового света [3] с очень короткой длиной волны. С ее помощью удалось достичь большей плотности транзисторов в микропроцессорах, что приводит увеличению мощности устройства.

Учёным удалось создать биполярный транзистор, скорость работы которого примерно 600 ГГц. Они предполагают, что он может стать основой для высокоскоростных вычислений, так как содержит в 25 раз больше мини транзисторов и скорость его работы выше в 25 раз соответственно. Однако, работающие на высоких скоростях транзисторы, быстро перегреваются, в результате чего происходит оплавление окружающих их компонентов.

Нанопровода(рис.2.) являются не менее важными составляющими электрической цепи. Они, как и нанорубки, могут образовывать сложные системы с другими материалами, но не обладают сверхвысокой прочностью изделия. Нанопровода диаметром 12 нанометров используются в оптических и электромагнитных системах, сенсорах и солнечных батареях. Для их создания обычно используют напыление или подвешивания в вакуумной камере с удалением слоев.

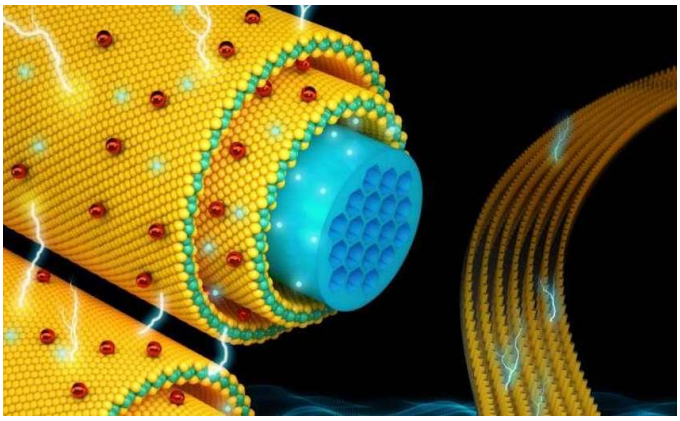


Рис.2. изображение нанопровода

Также нанотехнологии [4-7] широко используются при создании жестких дисков. Используя квантовомеханический эффект, ученным удалось создать датчик магнитного поля, который сможет записывать данный на диск с атомарной плотностью. Данный процесс происходит в тонких металлических пленках, в состав которых входят ферромагнитные и немагнитные слои. Используя внешние магнитные поля, направлением намагниченности можно управлять. Данному эффекту было дано название GMR-эффекта.

В лаборатории Бостонского университета удалось создать наноантенну. Её размеры составляли примерно 1 микромикрон. Мощность данного устройства составила 1.49 ГГц, что позволяет передавать большое количество информации, не используя обычные антенны, занимающие много места.

Одна из трудностей в создании наноструктур — сборка компонентов в систему. Один из принципов сборок – это использование биоэлектроники на основе молекул ДНК. ДНК-чипы состоят из молекул ДНК, которые располагаются на жесткой подложке из кремния. Электрически активные чипы, которые генерируют контролируемые электрические поля на каждом участке, могут стать основой для нанопроизводств. Такие наноэлектронные устройства переносят заряженные молекулы, наночастицы, клетки и структуры наномасштаба к любому месту на поверхности устройства, формируя наносистему.

Сегодня мы можем видеть стремление людей использовать пространство с максимальной выгодой. К 2020 году ученые планируют довести транзистор до атомарного размера. Однако тяжело представить, как это будет выглядеть в реальности и сколько пользы принесет данный прогресс. Человечество сможет хранить огромные количества информации, получит

компьютеры, рабочая частота которых будет достигать терагерцовыхвеличин. Получат распространение нейрочипы, благодаря которым теоретически станет возможным переселение человека в интеллект компьютера. Современные успехи в развитии наноматериалов в электронике создают серьёзную конкуренцию старым устройствам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Юнусов Р.Ф., Кормильцев Н.В.*Электронный курс по наноматериалам и нанотехнологиям// Современные научные исследования и разработки. 2016. №3 (3). С.135-141.

2. Юнусов Р.Ф. Опыт разработки и использования электронного курса по наноматериалам// Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 447-450.

3. Дербышев А.П. ,Юнусов Р.Ф. Перспективы использования солнечной энергии//Наука в движении: от отражения к созданию реальности. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Электронное издание). Издание «Перо». М., 2016. С. 174-177.

4. Морозов Д.С. Перспективы применения нанотехнологий в энергетике// Наука в движении: от отражения к созданию реальности. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Электронное издание). Под общей редакцией М.Ш. Гарифуллиной. 2016. С. 79-85.

5. Морозов Д.С. Применение наноматериалов в авиационной промышленности// Наука в движении: от отражения к созданию реальности. Материалы II Всероссийской конференции с международным участием. Под общей редакцией С.В. Юдиной. 2017. С. 60-65.

6. Уильямс Л.У. Адамс Нанотехнологии без тайн; пер. с англ. Ю.Г. Гордиенко. – М.: Эксмо, 2009. – 368 с.

7. www.nanoportal.ru Информационно-аналитический портал по нантехнологиям и наноматериалам ФГУП ВНИИНМ им. А.А. Бочвара

THE ROLE OF NANOTECHNOLOGY IN DEVELOPMENT OF ELECTRONICS

E. Latypov

emil_latipov@mail.ru

Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

Electronics is a rapidly developing industry that is able to facilitate and simplify the life of mankind. More recently, scientists have discovered "nanotechnology" and began to introduce them into the device. This allowed making a breakthrough in electronics and creating components with greater performance.

УДК 621.7.029

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ УПРОЧНЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

Марков М.А., Быкова А.Д.

barca0688@mail.ru

(НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург)

Приведены результаты экспериментальных исследований в области формирования керамических алюмооксидных покрытий методом микродугового оксидирования алюминия, выполненных в научном нанотехнологическом центре НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей».

Прогресс техники и научных решений в условиях современного мирового сообщества обуславливает необходимость существенного повышения функциональных характеристик материалов, с целью расширения спектра их практического применения.

Наиболее насущные проблемы возникают при упрочнении поверхностей алюминиевых и стальных деталей, работающих в ответственных сопрягаемых деталях морской и авиационной промышленности. Следует отметить, что зачастую именно характеристики поверхности определяют область использования технического узла в целом, его устойчивость к внешним факторам, таким как механическое или химическое воздействие [1-3].

В научном нанотехнологическом центре НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей» сосредоточено современное технологическое оборудование, позволяющее создавать уникальные защитные покрытия функционального назначения. В последние годы молодым коллективом ученых «Наноцентра» НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей» были проведены комплексные исследования по плазменному электролитическому оксидированию или микродуговому оксидированию (МДО) алюминия, что привело к синтезу перспективных керамических покрытий на алюминиевых и стальных деталях, обладающих устойчивостью к коррозии и износу [4-6].

Синтез функциональных керамических алюмооксидных покрытий на металлической поверхности является экономической и технологической альтернативой монолитным керамическим материалам. Известные технологические приемы изготовления керамик весьма трудоемки, они основаны на горячем прессовании смеси композиций керамических порошковых частиц в монолитное изделие, но данный процесс, с учетом стоимости исходных порошковых материалов, является дорогостоящим, особенно если речь идет об изготовлении изделий, имеющих габаритную и сложную форму.

В представленном докладе приводятся некоторые результаты научного коллектива по синтезу керамических алюмооксидных покрытий на основе метода микродугового оксидирования алюминия.

Исследования авторов выявляют недостатки технологического процесса МДО алюминия в «типовых» силикатно-щелочных электролитах. К основным недостатком следует отнести формирование аморфного слоя диоксида кремния, имеющего высокую открытую пористость синтезируемых покрытий (до 20 % по площади поверхности) с образованием внутренних разветвленных пор сложной геометрии диаметром порядка 50-60 мкм,

В качестве пассиватора вместо силикатов в электролитах для МДО алюминия могут выступать соли некоторых кислот. В частности, боратный электролит имеет высокую стабильность (сопротивление к окислению на аноде). Процесс МДО в боратных электролитах на сегодняшний день практически не исследован, так как силикатно-щелочные электролиты дешевле и экологически безопасны. Однако при замене силиката на борат исключается возможность образования аморфных технологических слоев в процессе МДО, что приводит к повышению функциональных свойств покрытия, таких как твердость и износостойкость. Из экономических соображений авторами предложено выполнить приготовление боратного электролита смешением борной кислоты и щелочи.

Положительные результаты продемонстрированы при исследовании МДО алюминия в «нетиповом» боратном электролите состава: H_3BO_3 - 25 г/л, KOH - 5 г/л. Экспериментально определено влияние плотности тока на образование оксидного слоя. Показано, что при малых плотностях тока в покрытии образуются продольные поры, при больших плотностях тока процесс МДО сопровождается трещинообразованием, обоснован оптимальный режим МДО алюминия на постоянном токе - 5 А/дм^2.

МДО в боратном электролите формирует на поверхности алюминия покрытие, которое содержит в своем составе фазы θ-Al_2O_3 в α-$A1_2O_3$.

Фаза θ-Al_2O_3 (плотность 3,61 г/см^3) имеет аналогичные физико-химические характеристики с и γ-Al_2O_3 (плотность 3,68 г/см^3), значительно уступает корунду по механическим свойствам, что приводит к снижению твердости и является нежелательным с точки зрения получения износостойкого покрытия.

С увеличением продолжительности МДО происходит переход θ-Al_2O_3 в α-Al_2O_3. Содержание корунда достигает 80% при продолжительности действия дуговых разрядов 2 - 2,5 часа, рисунок 1.

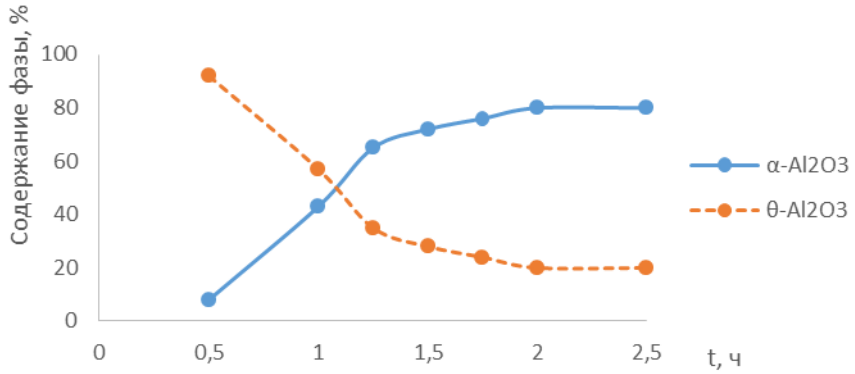
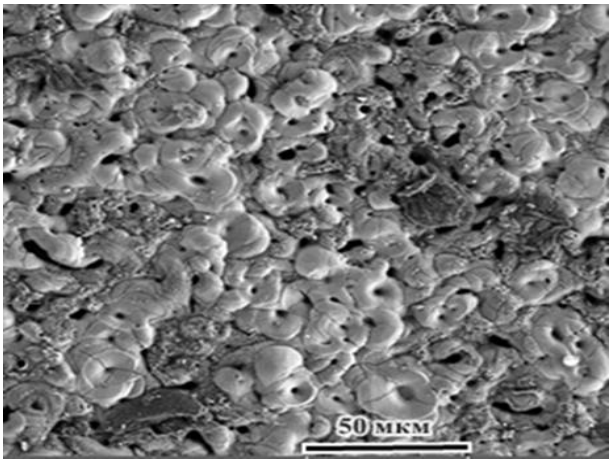


Рисунок 1 - Изменение фазового состава от продолжительности МДО алюминия в боратном электролите на оптимальной плотности тока

Исследования показывают, что обработка алюминия в боратном электролите в течение 2,5 часов при плотности тока 5 А/дм^2 приводит к образованию керамического алюмооксидного покрытия с пористостью не более 10 % по объему, толщиной порядка 50-60 мкм, рисунок 2. [7]



а - Поверхность керамического МДО-покрытия



б – алюминиевый пуансон с МДО-покрытием

Рисунок 2 –Керамическое покрытие

Научным коллективом предложен и экспериментально подтвержден оптимальный подход к созданию защитных керамических покрытий на основе Al_2O_3 на стальных материалах, в соответствии с которым сверхзвуковым «холодным» газодинамическим напылением (ХГДН) сначала на поверхности стальной детали формируется алюминиевое покрытие заданной толщины, содержащее в своем составе упрочняющие керамические наночастицы Al_2O_3. Затем полученное покрытие подвергается микродуговому оксидированию в боратном электролите, в результате чего образуется износостойкое и коррозионностойкое керамическое покрытие, которое характеризуется градиентом твердости по толщине. Основой данной разработки является существенный научно-технический задел в области исследования ХГДН. [8-11] Специалистами наноцентра в течение последних лет разработаны практические рекомендации по использованию метода ХГДН получения функциональных покрытий в условиях производства. На примере алюминиевого порошка марки АСД-1 оптимизированы температурно-скоростные параметры процесса, обеспечивающие высокую адгезию и твердость покрытия при максимальной производительности и высоком коэффициенте использования порошка. [12]

В качестве металлической основы для синтеза керамического покрытия были использовали пластины, изготовленные из конструкционной углеродистой стали марки Ст45.

Упрочненный алитированный слой на стальной основе был сформирован за счет напыления порошка алюминия, армированного наноразмерными частицами корунда. Частица композиционного порошка представлена на рисунке 3.

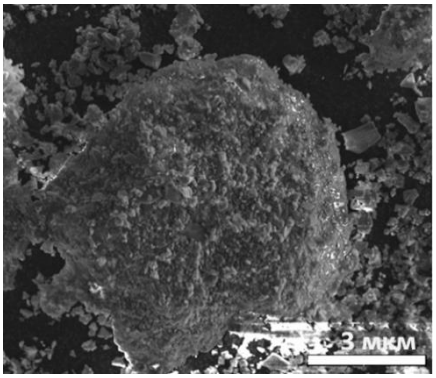
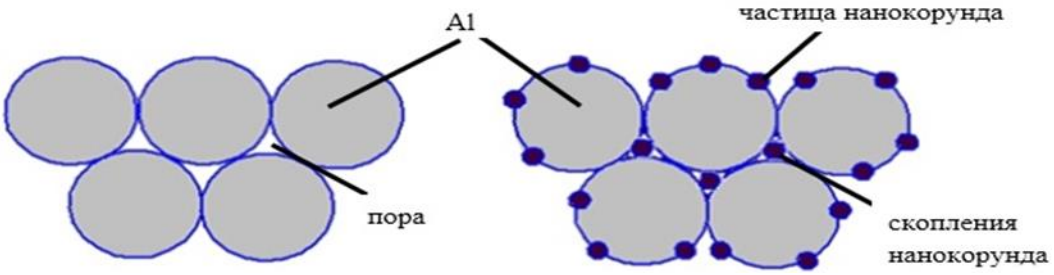


Рисунок 3 – Частица порошка алюминия, армированная наноразмерным корундом

Экспериментально определено, что в процессе напыления агломераты наноразмерного корунда, «не закрепленные» в алюминиевой матрице, ликвидируют образующиеся поры, в результате снижая пористость покрытия до 3% по его объёму. На рисунке 4 показана схема упаковки частиц алюминия в поперечном сечении после ХГДН смеси порошков с армированием наноразмерным корундом и без армирования.



а – Напыление без армирования б – Напыление с армированием

Рисунок 4 – Схема заполнения пор нанокорундом

Покрытие, полученное комбинацией ХГДН с МДО, можно условно разделить на 3 слоя:

– основной слой, обладающий высокой твердостью, плотностью и износостойкостью;

– слой ХГДН, упрочненный наноразмерным корундом;

– металлическая основа.

Результаты исследований позволяют говорить о перспективе использования полученных функциональных покрытий на алюминии и его сплавах в изделиях авиационной и морской техники.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда по направлению «Проведение инициативных исследований молодыми учеными Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными» (второй год исполнения проекта № 18-73-00025).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Sun S.* Long-term atmospheric corrosion behavior of aluminium alloys 2024 and 7075 in urban, coastal and industrial environments / S. Sun, Q. Zheng, D. Li, J. Wen // Corrosion Science. - 2009. – Vol. 51. – P. 719 - 727.

2. *Harvey T.G.* Cerium based conversion coatings on aluminium alloys: a process review / T.G.Harvey // Corros. Eng. Sci. Technol. - 2013. – Vol. 48. – P. 248 - 269.

3. *Bozza A.* Pulsed current effect on hard anodizing process of 7075-T6 aluminium alloy / A. Bozza, R. Giovanardi, T. Manfredini et al. // Surface and Coating Technology. - 2015. – Vol. 270. - P. 139 - 144.

4. Синтез износостойких керамических покрытий на стальных материалах с комплексным использованием методов сверхзвукового гетерофазного переноса и микродугового оксидирования / *Марков М.А., Красиков А.В., Геращенков Д.А., Макаров А.М., Быкова А.Д., Орданьян С.С.* // Огнеупоры и техническая керамика . — 2016. - № 10. С. 30-35/

5. Formation of Protective Ceramic-Metal Coatings on Steel Surfaces by Microarc Oxidation with Electro-Chemical Deposition of Nickel/ *Markov M.A., Krasikov A.V., Gerashchenkov D.A., Bykova A.D.* Ordan'yan S.S., Fedoseev M.L. // Refractories and Industrial Ceramics. - 2018. - Vol.58. - № 6.

6. Formation of Wear- and Corrosion-Resistant Coatings by the Microarc Oxidation of Aluminum/ *M.A. Markov, A.D. Bykova, A.V. Krasikov, B.V. Farmakovskii, D.A. Gerashchenkov* // Refractories and Industrial Ceramics. – 2018. –Vol. 59. - № 2. - P. 207–214.

7. Исследование образования керамических покрытий микродуговым оксидированием в боратном электролите / *А.В. Красиков, М.А. Марков, А.Д. Быкова* // Известия СПбГТИ. - 2016. - №36 (62). - С. 36-41.

8. Исследование адгезионной прочности композиционных армированных покрытий системы металл – неметалл, полученных методом холодного газодинамического напыления / *Геращенков Д.А., Фармаковский Б.В., Самоделкин Е.А., Геращенкова Е.Ю.* / Вопросы материаловедения. 2014. № 2 (78). С. 103-117.

9. Исследование температуры потока в процессе холодного газодинамического напыления функциональных покрытий / Геращенков Д.А., Васильев А.Ф., Фармаковский Б.В., Машек А.Ч. / Вопросы материаловедения. 2014. № 1 (77). С. 87-96.

10. Способ получения наноструктурированных функционально-градиентных износостойких покрытий/ *Горынин И.В., Фармаковский Б.В., Геращенков Д.А., Васильев А.Ф.* / патент на изобретение RUS 2354749 12.04.2007

11. Износостойкие функционально-градиентные покрытия на основе квазикристаллов, полученные методом сверхзвукового холодного газодинамического напыления / *Фармаковский Б.В., Геращенков Д.А., Быстров Р.Ю., Васильев А.Ф., Улин И.В., Бобкова Т.И.* / Вопросы материаловедения. 2017. Т. 90. № 2. С. 130-135.

12. Оптимизация параметров процесса напыления покрытий методом ХГДН применительно к условиям производства на примере порошка алюминия / *Макаров А.М., Геращенков Д.А., Васильев А.Ф.* / Вопросы материаловедения. 2017. Т. 90. № 2. С. 116-123.

RESEARCH OF HARDENING METHODS FOR CERAMIC COATINGS FORMED BY PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION

Markov Mikhail, Bykov Alina

(NRC "Kurchatov Institute" - CRISM "Prometey")

The results of experimental studies in the field of the formation of ceramic alumina coatings by the method of microarc aluminum oxidation, carried out in the scientific nanotechnological center of the NRC "Kurchatov Institute" - CRISM "Prometey".

УДК 621.32

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПЛАЗМЕННОГО ШАРА

Машуков Д.В., Сапрыкин В.И.
david.m_2000@mail.ru; *slava.saprykin2000@gmail.com*;
Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

В данной статье описаны опыты с плазменным шаром, а также измерено электрическое поле вокруг него в зависимости от расстояния. Все опыты записаны на видео, а также их можно будет продемонстрировать в аудитории.

История и некоторые опыты с плазменным шаром были выполнены в работах [1,2]. Разряд внутри плазменного шара похож по свечению на тлеющий разряд [3-5]. Целью данной статьи является постановка и модификации опытов в указанных работах, обнаружение новых закономерностей, а также измерение электрического поля вокруг плазменного шара.

Устройство и принцип действия: Стеклянная колба какой-либо формы (как правило сферической) заполнена инертным газом. Внутри расположен электрод, соединенный с трансформатором, дающим на выходе переменный ток напряжением в несколько киловольт и частотой 20-30 кГц. Вторым электродом является сама колба или что-либо, к ней прикасающееся. При включении плазменного шара ионы и электроны, возникающие внутри шара, начинают двигаться вдоль силовых линий электрического поля, от чего и возникает свечение в форме линий, наблюдается тлеющий разряд. Далее приведены некоторые опыты с плазменным шаром.

Опыт 1: подносили к плазменному шару энергосберегающую лампу на расстояние примерно 10 см. Вблизи шара лампа начинала светиться. В ходе опыта был выявлен интересный факт: если плазменный шар " заземлить" рукой, то свечение угасало либо вообще потухало.

Опыт 2: когда мы подносим люминесцентную лампу к шару, держа ее за оба конца, мы наблюдаем явление под названием "скачкообразный переход". Посередине лампы образуется своеобразный барьер. При перемещении лампы газ внутри нее ионизируется и светится только по одну его сторону, которая ближе к плазменному шару, как видно на видеозаписи. Объясняется это тем, что в электроде, находящемся ближе к шару, возникает ток, который ионизирует лишь часть атомов газа внутри лампы. Переход происходит, когда один из электродов начинает ионизировать газ рядом с собой, а второй в силу пропажи тока, перестает это делать.

Опыт 3: Мы полностью накрыли фольгой шар, тем самым создав конденсатор. Фольга исполняет роль второго проводника, где в качестве диэлектрика выступает стекло, а первый проводник — это газ в шаре. Тем самым фольга накапливает заряд. На фольге был сделан острый наконечник, чтобы там сконцентрировался заряд. Для более наглядного получения заряда мы использовали "острие" также из фольги, на которое переходит заряд как мы и наблюдаем на видео. (См. рис. 1)

Далее мы поднесли головку спички к электрической искре. В результате ее прохождения через головку спички, она нагревается и воспламеняется.

В следующем опыте мы пропустим разряд через яблоко и получим эффект, который показан на видео. Ток проходит через яблоко и создает дугу-разряд между острием и яблоком. Он прожигает кожицу, так как она не проводит ток.

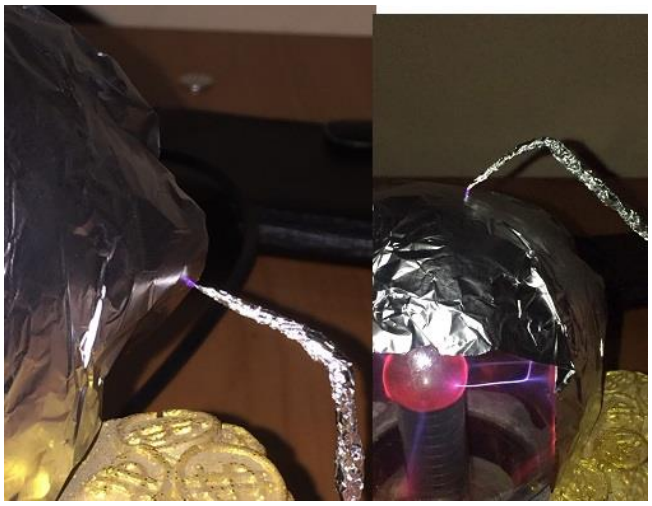


Рис.1. Получение разряда

Опыт 4: Электрическое поле воздействует на монету, которая служит конденсатором № 1, вследствие зарядки конденсатора №1 между ним и лампой проскакивает «искра». В лампе со светодиодами находится конденсатор № 2 с большим объемом. Заряду на первом конденсаторе не хватает энергии для набора мощности конденсатора номер 2 и проходит некоторое количество времени для полного заряда конденсатора лампы. Как он зарядился, происходит моментальная его разрядка. Высвободившегося количества энергии хватает для яркой вспышки в светодиодах, которой является конечным результатом опыта.

Измерение электрического поля шара.

Мы измерили напряжение электрического поля вокруг шара, удаляясь на каждые 10 см от поверхности шара, записывали полученные данные и выявили зависимость, показанную на графике ниже.

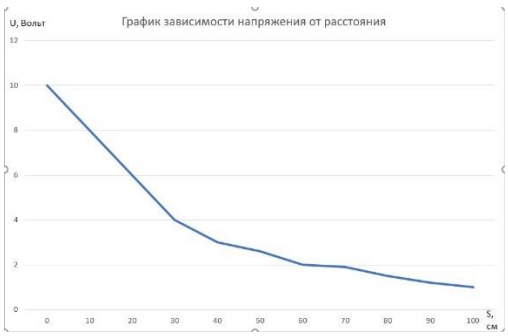


Рис.1. Зависимость напряжения от расстояния.

Получили, что на небольших расстояниях напряжение пропорционально расстоянию, но уже с 30 см пропорциональность нарушается. Также с помощью осциллографа был рассчитан период колебаний электрического поля шара, равный 36 миллисекундам.

Заключение

Плазменный шар очень интересный декоративный объект для научного исследования. Мы провели несколько опытов с ним и выяснили свойства его электрического поля, и то, как на него реагируют такие предметы как: люминесцентные и обычные лампочки. Показали, что электрическое поле вокруг шара может реагировать с проводником и вызывать в нем электрический ток и достаточно высокие напряжения, чтобы создавать разряд в воздухе. Также измерили с помощью осциллографа напряжение поля, построили график и выявили зависимость. Проведенные опыты и измерения позволят глубже понять процессы,

происходящие внутри плазменного шара, а также могут служить демонстрациями по электромагнитным явлениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Юнусов Р.Ф.* Электронные курсы на платформе «Blackboard»//Научно-методический электронный журнал «Концепт» – 2016 - № 11(ноябрь) - С.95-105 – URL: http://e-koncept.ru/2016/16242.htm.

2. *Юнусов Р.Ф.* Значение шара Тесла для понимания явлений газового разряда // Вестник Казанского государственного университета им. А.Н.Туполева. 2017. Т. 73. № 3. С. 5-9.

3. *Юнусов Р.Ф., Гарипов М.М.* Влияние расхода газа на структуру и параметры продольного тлеющего разряда// Необратимые процессы в природе и технике. Труды десятой Всероссийской конференции МГТУ им. Н.Э.Баумана. Москва: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2019, Ч. I, С. 249-253.

4. *Юнусов Р.Ф., Гарипов М.М.* Экспериментальное исследование энергетических характеристик тлеющего разряда// Необратимые процессы в природе и технике. Труды десятой Всероссийской конференции МГТУ им. Н.Э.Баумана. Москва: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2019, Ч. I, С. 269-273.

5. http://class-fizika.ru/ni-plas.html

RESEARCH OF ELECTRIC FIELD OF PLASMA BALL

D. Mashukov, V. Saprykin

david.m_2000@mail.ru; *slava.saprykin2000@gmail.com*

Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

(Kazan National Research Technical University named after AN Tupolev-KAI, Kazan)

This article describes experiments with a plasma ball, and measurements of the electric field around it depending on the distance. All experiments are recorded on video and can also be demonstrated in the audience.

The history and experiments with a plasma ball were performed. The discharge inside the plasma ball is similar in luminescence to a glow discharge. The purpose of this article is to set up and modify experiments in these works, to discover new patterns, and also to measure the electric field around the plasma ball.

УДК 620.3

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В АВИАСТРОЕНИИ

Морозов Д.С.

morozov-d97@mail.ru

Научный руководитель: А.Ю. Афанасьев, д.т.н., профессор

(Казанский национальный исследовательский технической университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В статье показаны способы применения нанотехнологий в авиастроении, рассмотрены важнейшие преимущества наноматериалов для производства авиационной техники.

Человечество всегда стремилось к улучшению условий своего существования. Первобытные люди научились применять простейшие орудия труда, благодаря которым они стали охотиться на крупных животных, добывать огонь для приготовления пищи и обогрева жилья. Позднее было изобретено колесо и сделаны другие открытия, послужившие большим толчком в развитии человечества. Однако шли годы, эволюционировали люди, менялись их жизненные потребности. Сегодня невозможно представить себе мир без достижений науки, транспорта, медицины, техники и многого другого.

В настоящее время большая роль отводится изучению нанотехнологий, которые помогают заглянуть нам на новый молекулярный уровень. Нанотехнологии – это технологии, которые дают возможность работать с объектами размером порядка 1-100 нм. При уменьшении размера частиц до 100-10 нм и менее, свойства материалов (механические,

каталитические и т.д.) существенно изменяются. Сферы внедрения нанотехнологий достаточно велики, они находят широкое применение в медицине, электронике, энергетике и т.д. Однако свою работу хочу посвятить рассмотрению перспектив их использования в авиационной промышленности.

Современная авиационная техника должна соответствовать самым разнообразным критериям. Самолет должен обладать большой скоростью и высоким практическим потолком, иметь небольшую массу, хорошую управляемость и многие другие характеристики.

Как средство транспорта самолет должен иметь высокие экономические показатели, т.е. малую стоимость производства в целом, низкие эксплуатационные расходы, малый расход топлива, большую продолжительность службы. Важнейшим критерием любого воздушного судна являются его аэродинамические показатели, оптимальный подбор которых достигается за счет изменения формы фюзеляжа, оперения, расположения управляющих органов, а также создание двигателей для обеспечения необходимых летно-тактических характеристик.

Благодаря нанотехнологиям в настоящее время в авиастроении активно используются композиционные материалы, полезные свойства которых связаны с уникальными характеристиками углеродных нанотрубок (УНТ), где основным определяющим фактором является модуль Юнга – величина, характеризующая способность материала сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации. Сравнительные показатели углеродных нанотрубок со сталью приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметр	Углеродные нанотрубки	Сталь
Модуль Юнга, Па	$1{,}3–1{,}8\cdot10^{12}$	$0{,}21\cdot10^{12}$
Прочность на разрыв, ГПа	45	2

Как видно из таблицы, прочностные свойства УНТ выше показателей стали в десятки раз. Однако использовать только углеродные нанотрубки в качестве основного материала в конструкции самолета невозможно, а вот применение в роли наполнителя для повышения прочности находит широкое применение для изготовления конструкций в авиастроении. Известно, что основным способом соединения конструкций авиационной техники является заклепочное соединение, для которого сначала выполняется сверление отверстий. Оно способствует образованию технологических дефектов. В одном образце пассажирского авиалайнера в среднем имеется более миллиона таких отверстий. В процессе эксплуатации самолет испытывает множественные нагрузки и напряжения. Для их снижения на поверхность конструкций и отверстий можно наносить специальные слои наноструктурированного материала с целью самозалечивания возникающих микротрещин, для равномерного распределения нагрузок по поверхности, а также для улучшения коррозионной стойкости, что является хорошей перспективой на ближайшее будущее.

Оптимальный подбор форм поверхностей летательного аппарата для снижения давлений и трений на конструкцию авиалайнера является задачей аэродинамики. Одним из интересных решений является идея изменения течения потока воздуха с турбулентного на ламинарный с помощью наносенсоров и датчиков, что позволит снизить сопротивление трения на 50-60% в пограничном слое на всей поверхности авиалайнера. По оценкам специалистов, с их помощью можно получить ламинарное обтекание 30 % площади крыла и оперения самолета, что приведет к снижению сопротивления трения на 25 % и полного сопротивления – на 10 %. Недавно специалистами ЦАГИ была спроектирована система управления пограничным слоем посредством гибкой ленты шириной около 10 мм и толщиной 0,1 – 1 мм, наклеиваемой на поверхность крыла самолета параллельно его передней кромке. Такая лента должна иметь разъемы для подключения компьютера, который управляет работой системы в соответствии с характеристиками пограничного слоя в месте установки. Принцип действия устройства заключается в уменьшении на 1 – 2 порядка

амплитуды неустойчивых колебаний, проходящих под лентой. В конечном итоге на расстоянии 0,2 – 0,5 м должно обеспечиваться ламинарное течение в пограничном слое.

Еще одним интересным наноматериалом является графен. Внедрение графена в производство авиатехники способствует уменьшению веса воздушного судна. Кроме того, графеновые конструкции обладают отличной прочностью, что позволяет создавать крылья самолета до 50% прочнее стандартных, сделанных из титана или сплавов алюминия. Немаловажной особенностью данного материала является его свойство противостоять ударам молнии.

Следующей важной проблемой в авиации является борьба с обледенением, которое негативно сказывается на безопасности полета. Например, всего лишь небольшой слой обледенения передней кромки крыльев ощутимо отражается на подъёмной силе, что приводит к нежелательным последствиям в моменты взлёта или посадки. Для предотвращения образования льда задействовано сверхгидрофобное покрытие, представляющее собой пленку, приклеиваемую на кромки поверхностей. В случае, если же лед начнет образовываться, под действием нагрева или деформации формы пленки необходимо обеспечить устранение льда с поверхности самолета. Благодаря небольшим размерам таких покрытий (от 10 до 50 нм), удается избежать образование льда, так как вода успевает лишь соприкасаться с воздушной прослойкой между частицами и соскальзывает с поверхности, не замерзая. Известно, что гидрофобная поверхность не является абсолютно гладкой, а обладает шероховатостью определенного размера. За основу создания подобной поверхности принято строение и свойства листа индийского лотоса (рис. 1): вследствие высокого поверхностного натяжения капли воды стремятся уменьшить поверхность, собираясь в сферическую форму. При контакте жидкости с поверхностью силы сцепления приводят к смачиванию поверхности. Степень смачивания зависит от структуры поверхности и от натяжения жидкости капли.

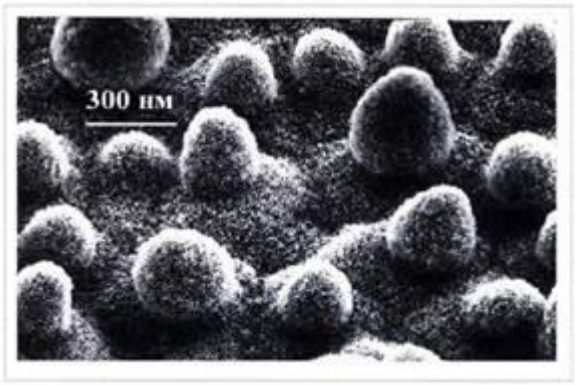


Рис.1 Поверхность листа индийского лотоса под сканирующим микроскопом

Как показали исследования, проведенные в гидроканале, искусственно созданная в лабораторных условиях шероховатость поверхности лотоса на различных телах позволила снизить сопротивление трения на 15–20 %, при этом показатели этой шероховатости находятся ниже минимального уровня аэродинамической гладкости, что может способствовать активному их применению для устранения обледенения на передних кромках крыльев и воздушных винтов.

Таким образом, привлечение нанотехнологий в авиастроении открывает уникальные возможности для совершенствования летательных аппаратов. Многие конструкторские и научные разработки уже активно применяются в строительстве летательных аппаратов и дают отличные результаты, но далеко не все из них пока реализованы на сегодняшний день. Предстоит ещё большая работа по проведению различных экспериментов и опытов, по изучению свойств наноматериалов и их поведению в различных условиях применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мануйлович С.В.* Об одном методе активного подавления волн неустойчивости в ламинарном пограничном слое // Докл. АН. 2006. Т. 406. № 3. С. 337–340.

2. *Смотрова С.А.* Об использовании наноматериалов и нанотехнологий для изготовления конструкций ДПМ, применяемых при изучении явлений аэроупругости в АДТ // Тр. ЦАГИ. Вып.2675.2007.С.188–193

THE USE OF NANONECHNOLOGY IN THE AIRCRAFT INDUSTRY

D. Morozov

morozov-d97@mail.ru

Supervisor: A. Afanasiev, Doctor of Technical Science, Professor

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

The article shows the methods of application of nanotechnology in aircraft industry, considered the most important advantages of nanomaterials for the production of aviation equipment.

УДК-53.06

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТРУБОК

Набиуллин Э.И., Латипов Р.Х.

leks116@yandex.ru

Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент

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

В данной статье рассмотрены типы и свойства нанотрубок, их применение и особенности.

Углеродные нанотрубки – это структурная модификация углерода, имеющая вид полой цилиндрической структуры, с диаметром в районе 0,1-10нм и длиной от микрометра до нескольких сантиметров, однако, существует возможность их сплетения в нити практически неограниченной длины [1].

Углеродные нанотрубки являются аллотропом углерода. Они принимают форму цилиндрических углеродных молекул и обладают новыми свойствами, которые делают их потенциально полезными в таких областях, как нанотехнология, электроника, оптика и сферы материаловедения.

Они проявляют необычайную прочность и уникальные электрические свойства и являются эффективными проводниками тепла. Неорганические нанотрубки также были синтезированы.

Нанотрубки являются членами структурного семейства фуллеренов, в которое также входят бакиболлы. В то время как бакиболлы имеют сферическую форму, нанотрубка имеет цилиндрическую форму, по меньшей мере, один конец которой обычно покрыт полусферой структуры бакиболла. Их название происходит от их размера, поскольку диаметр нанотрубки составляет порядка нескольких нанометров (примерно в 50000 раз меньше ширины человеческого волоса), а длина их может достигать нескольких миллиметров.

Существует два основных типа нанотрубок: одностенные нанотрубки и многостенные нанотрубки.

Одностенные углеродные нанотрубки обладают превосходными электронными свойствами и имеют большой потенциал для возможных будущих применений в сфере наноэлектроники. Уникальные свойства напрямую связаны с их структурной организацией или хиральностью. Нанотрубки действуют как квантовые провода в том смысле, что электропроводность, по-видимому, происходит через дискретные электронные состояния,

которые когерентны на больших расстояниях. Одностенные нанотрубки проявляют сильную антимикробную активность.

Отличие многостенной трубки от одностенной в том , что многостенные имеют более различные формы и конфигурации . Разновидность структур виднеется как в продольном, так и в поперечном направлении. Многостенные углеродные нанотрубки состоят из нескольких слоев графита, обернутых вокруг друг друга в трубчатую структуру межслоевым диспергированием. Две модели, которые можно использовать для иллюстрации структуры – это модель «Матрешка» и модель «Пергамент». В модели «Матрешка» графитовые листы расположены в концентрических цилиндрах, в то время как в модели «Пергамент» один лист графита оборачивается вокруг себя, как свернутая газета.

Каждую однослойную нанотрубку можно изобразить в виде выкройки из листа графена (двумерной модификации углерода, представляющий собой лист толщиной в 1 атом), которая задаётся парой чисел (n, m), называющихся индексами хиральности. Индексы хиральности (n, m) при этом являются координатами радиус-вектора R в заданной на графеновой плоскости косоугольной системе координат, определяющего ориентацию оси трубки относительно графеновой плоскости и её диаметр. На рис.1 показаны структура нанотрубки и угол хиральности [2].

Диаметр любой однослойной нанотрубки можно найти по следующей формуле, где n, m – это ранее упомянутые индексы хиральности, а d_0 – расстояние между атомами углерода в плоскости, равное 0,142 нанометра.

$$D = \frac{\sqrt{3}d_0}{\pi} \cdot \sqrt{m^2 + n^2 + mn}$$

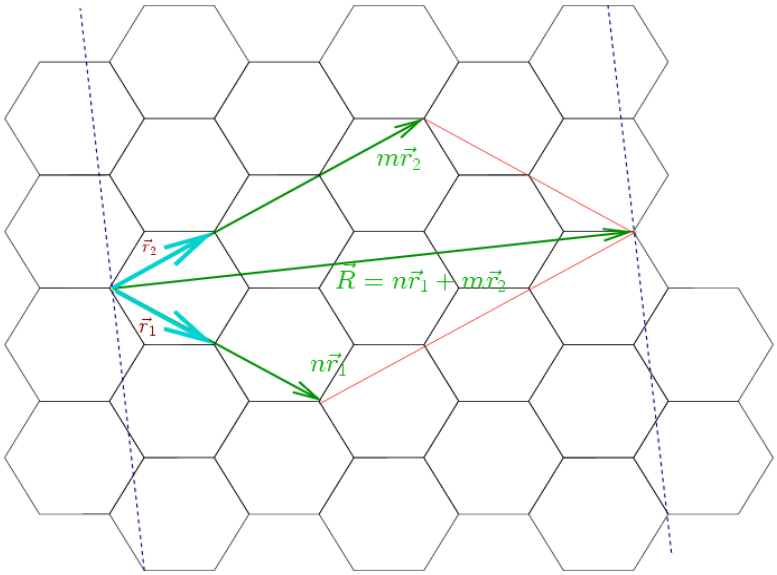


Рис.1 Структурная схема нанотрубки

По типу торцов углеродные нанотрубки бывают

- открытые;
- закрытые (заканчивающиеся полусферой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена).

По электронным свойствам

- металлические (n – m делится на 3)
- полупроводниковые (прочие n и m)

Получить углеродные нанотрубки можно разными способами, в данный момент самыми распространёнными являются следующие:

• Дуговой разряд. Этот метод включает установление постоянного тока между парой графитовых электродов под инертным газом (гелием или аргоном) с давлением 500 мм. рт. ст. Имеются сведения о получении нанотрубок в тлеющем разряде [3-5].

• Метод лазерной абляции. Лазерная абляция происходит, когда высокоплотное, коротковолновое лазерное излучение взаимодействует с ослабляющими материалами. Проблема, из-за которой этот метод нераспространен, связана с мусором: образуются твердые частицы, расплав и пары.

• Химическое осаждение из газовой фазы. Представляет собой процесс, при котором пленки материалов осаждаются изпаровой фазы в результате разложения химических веществ на поверхности подложки. Чаще всего этот процесс осуществляется с помощью термопривода, но также используется плазменный метод. Осаждение пленки контролируется химической реакцией. Таким образом, этот метод более универсален, чем многие традиционные методы. Рост происходит в неравновесных условиях.

История открытия углеродных трубок неоднозначна. В отличие от фуллеренов, упоминавшихся ранее, открытых в 1985-ом году, и за открытие которых, ученые, работавшие над этим, получили Нобелевскую Премию в 1996, углеродные трубки не имеют своей даты изобретения. Известно, что они наблюдались в 1991 профессором Иидзимой, которого многие называют первооткрывателем нанотрубок, однако есть свидетельства того, что углеродные нанотрубки наблюдались и ранее.

В 1974 году ученым Эндо и его помощниками было обнародовано несколько докладов, описывающих трубки диаметром не более 10 нм, которые были изготовлены способом паровой конденсации, но более глубокого изучения исследований структуры не проводились. Команда учёных Института катализа в 1977 году при исследовании зауглероживания железохромовых катализаторов дегидрирования под микроскопом отметили формирование «пустотелых углеродных дендритов», после чего предложили механизм образования и описали строение стенок. В 1952 В.М. Лукьянович и Л.В. Радушкевич опубликовали статью. В ней говорилось о микроскопическом наблюдении волокон диаметром 100 нм, которые были получены в результате термического разложения углеродной окиси на железном катализаторе.

Применение и особенности [6-9]

• Фотоника и оптика. Оптическое поглощение в большом спектральном диапазоне можно достичь при подборе диаметра нанотрубок. Углеродные нанотрубки с одним слоем показывают мощную вариативность насыщающегося поглощения, т.е. они становятся прозрачными при довольно интенсивном свете. Из-за этого нанотрубки применяются в разных областях фотоники. Например, в коммутаторах и маршрутизаторах, для появления ультракоротких импульсов лазера и для регенерации оптических сигналов.

• Электроника. Сейчас существует множество идей использования нанотрубок в электронике, но реализована малая их часть. Больше всего интересует использование нанотрубок как межфазного материала, устойчивого к температурам.

• Необходимость нанотрубок в электронике обусловлена замещением индия в теплопроводах, которые используются в транзисторах повышенной мощности, графических и центральных процессорах, поскольку запасы индия убывают, а цена увеличивается.

• Медицина. Были обнаружены препараты нанотрубок, которые убивают бактерии. Они более эффективны, чем традиционные антибиотики. Эти нанотрубки имеют диаметр около 3 нм и длину 6 нм. Для того, чтобы превратить их в эффективные бактерициды, их связывают с боковыми цепями из аминокислоты, которые составляют трубку.

• Создание сенсоров. Углеродные нанотрубки для сенсоров – одно из наиболее необычных решений. Тонкие пленки из нанотрубок на сегодняшний день являются лучшим решением для электронных сенсоров . Производить их можно с использованием различных технологий.

• Использование биочипов, биосенсоров, для контролирования доставки и действия медицинских препаратов в биотехнологической отрасли. В наши дни работы в этой сфере активно ведутся. Анализ, выполняемый с использованием нанотехнологий, позволит сэкономить время, которое нужно для вывода технологии на мировой рынок.

• Конструкционные материалы нанотрубок. Нанотрубки обладают такими механическими свойствами, как жесткость, ударная вязкость и прочность. Существенно меняются в лучшую сторону свойства материала при введении в него нанотрубок.

Однако массовому использованию нанотрубок мешает некоторые факторы, такие как:

1 Трубки из углерода не изготовляются в промышленных масштабах, поэтому их серийное использование невозможно.

2 Углеродные трубки очень дороги.

3 В настоящее время не существует технологий, позволяющих производить нанотрубки с безошибочными параметрами длины, диаметра.

На сегодня нанотрубки из углерода вносят огромную лепту в развитие промышленности и технологий. Эксперты прогнозируют увеличение масштабов производства нанотрубок в ближайшие несколько лет и понижение цен на данную продукцию, что дает нам более широкий спектр применения нанотрубок, а также увеличит спрос среди потребителей на мировом рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Юнусов Р.Ф.* Опыт разработки и использования электронного курса по наноматериалам//Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. Издательство: Казанский государственный технический университет им. А.Н.Туполева (Казань). С.447 – 450.

2. *Юнусов Р.Ф., Кормильцев Н.В.* Электронный курс по наноматериалам и нанотехнологиям // Современные научные исследования и разработки. 2016. № 3 (3). С. 135-141.

3. *Yunusov R.F.* Heat transfer in a longitudinal glow discharge// Journal of Physics: Conf. Series 789 (2017) 012069. https://iopscience.iop.org/1742-6596/789/1/012069

4. *Юнусов Р.Ф., Гарипов М.М.* Экспериментальное исследование энергетических параметров тлеющего разряда // Необратимые процессы в природе и технике. Труды десятой Всероссийской конференции МГТУ им. Н.Э.Баумана. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019, Ч. I, С. 269-273.

5. *Юнусов Р.Ф., Гарипов М.М.* Влияние расхода газа на структуру и параметры продольного тлеющего разряда// Необратимые процессы в природе и технике. Труды десятой Всероссийской конференции МГТУ им. Н.Э.Баумана. Москва: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2019, Ч. I, С. 249-253.

6. *Морозов Д.С.* Перспективы применения нанотехнологий в энергетике//Наука в движении: от отражения к созданию реальности. Материалы II Всероссийской конференции с международным участием. Под общей редакцией С.В.Юдиной.2017. С. 79-85.

7. *Морозов Д.С.* Применение наноматериалов в авиационной промышленности//Наука в движении: от отражения к созданию реальности. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Электронное издание). Под общей редакцией М.Ш. Гарифуллиной. 2016. С. 79-85.

8. https://sohabr.net/habr/post/421863/

9. https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrotehnika/uglerodnye-nanotrubki/

GEOMETRICFEATURES, TETHODS OF OBTAINING AND APPLICATION OF NANOTUBES

Emil Nabiullin, Rustem Latipov

leks116@yandex.ru

Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

This article discusses the types and properties of nanotubes, their application and features.

УДК:678-465

СОЗДАНИЕ РАЗМЕРОСТАБИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Обверткин И.В., Пасечник К.А.
Forzaloko1@ya.ru
Научный руководитель: А.Ю. Власов, к.ф.-м.н., доцент
(*Красноярский научный центр СО РАН, лаборатория космических систем и технологий, Красноярск)*

В данной работе рассмотрены следующие вопросы создания размеростабильных конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе полимерных связующих модифицированных углеродными нанотрубками. Показаны расчётные зависимости, определяющие величину коробления композиционного материала от содержания модификатора в структуре полимера. Проанализирована возможность уменьшения коробления ПКМ с модифицированной полимерной матрицей на 74% по сравнению с ПКМ на основе немодифицированной смолы.

Широкое применение ПКМ на основе эпоксидных смол в приборостроении, авиастроении и ракетно-космической технике предъявляет разнообразные требования к эксплуатационным свойствам к компонентам композитных материалов. Зачастую требуемые характеристики достигаются лишь введением в состав композитного материала модификаторов, позволяющие направленно изменять свойства полученного материала и оптимизировать его структуру.

Целью данной работы было изучено влияния коэффициента линейного термического расширения КЛТР эпоксидной системы на коробление изделия, вследствие уменьшения разницы КЛТР армирующего и связующего материала, что в свою очередь уменьшит возникающие при формовании остаточные напряжения, и как следствие уменьшиться и коробление изделия. Эти показатели особенно важны, когда речь идет о высокой температуре формования, необходимой для изготовления материалов, эксплуатирующихся в широком температурном диапазоне.

При формовании композиционного материала при высокой температуре в материале образуются несвободные температурные деформации, приводящие к технологическим остаточным напряжения и остаточной деформации [1]. Эти напряжения, вызванные разницей КЛТР элементов композитного материала. Они могут оказывать влияние, как и на несущую способность элементов конструкции из композиционных материалов, так и на характер их разрушения под действием внешнего напряжения, а остаточные напряжения будут определять геометрическую точность изготовляемого изделия. В общем случае снизить величину остаточного напряженно- деформированного состояния можно путем влияния на физико-механические свойства композиционного материала.

Нами были изготовлены серия образцов для измерения КЛТР связующего в зависимости от содержания одностенный углеродные нанотрубки TUBALL. В качестве связующего использовалось эпоксидная смола Т67 производства компании ЗАО «ИНУМИТ», представляет собой двухкомпонентную систему, включающая смеси эпоксидных смол на основе бисфенола А и эпохлоргидрина и араматических и алифатических диаминов.

Коэффициент линейного термического расширения определялся на термомеханическом анализаторе TMA 402 компании Netzsch, для анализа были изготовлены серии образцов эпоксидной смолы Т67 с содержанием нанотрубок, указанным в таблице 1.

Для оценки КЛТР наноструктурированного эпоксидного связующего используется правило смеси[2]:

$$\alpha_C = \frac{V_e * E_e * \alpha_e + V_m * E_m * \alpha_m}{V_e * E_e + V_m * E_m}$$

где V_e – объемная доля углеродных нанотрубок УНТ, E_e- модуль упругости УНТ, α_e – КЛТР УНТ, V_m – объемная доля связующего, E_m- модуль упругости связующего, α_m – КЛТР связующего.

Таблица 1.

Зависимость КЛТР связующего от содержания одностенных нанотрубок в диапазоне температур от 20 до 80 °С.

Содержание нанотрубок, %	КЛТР, α*10^{-6}			Расчетные данные
0	51,01	51,08	50,83	50
0,02	47,85	47,92	47,74	47,47
0,05	44,9	45,03	44,8	44,04
0,1	47,75	45,82	45,12	39,11

Исходя из данных таблицы 1, можно сделать вывод, что при данном способе диспергировании эпоксидной смолы максимальное снижение КЛТР достигается уже при концентрации модификатора в 0,05 % и составляет 12 % и соответствует данным расчетным данным полученным соотношением. При более высоких концентрациях модификатора снижение КЛТР не происходит. Это объясняется тем, что при концентрациях выше 0,05 % эффективность диспергирования углеродных нанотрубок падает.

Нами были изготовлены образцы композиционного материала на основе одного слоя равнопрочной углеродной ткани 3198 4H Satin 3K и эпоксидной смолы Т67. При изготовлении была использована как немодифицированная смола, так и наноструктурированная содержанием углеродных нанотрубок равным 0,05 %. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Зависимость отклонения от плоскостности углепластиковой от КЛТР связующего

Содержание нанотрубок, % масс	КЛТР, α*10^{-6}	Отклонение от плоскостности, δ мм	Отклонение от плоскостности, δ мм (Расчет)
0	50	6,49	2.253
0,05	44,04	1,73	1.979

Измерение плоскостности проводилось при помощи портативной координатно - измерительной машины Absolute Arm 7520 SE с внешним сканером CMS 108 с ПО Geomagic (Romer) с пространственной точностью ±0.033 мм.

Для расчета величины коробления использовалась теоретическая модель «Pan» [3] для 3D армированного материала при расчете характеристик модифицированного связующего, для определения характеристик монослоев композитного материала использовалась модель «Voight model» приведенная автором [4], далее расчет включал в себя определение НДС единичных слоев материла и расчет матриц жесткости в общих осях координат [5], определения матрицы мембранно-изгибных жесткостей [4], вычисление деформации и кривизны пластинки вследствие возникающих в композитной структуре термоупругих и усадочных напряжений [6].

Нами были получены следующие данные, при использовании немодифицированной смолы величина коробления, выраженная отклонения от плоскостности, составила 6,49 мм, при использовании эпоксидной смолы с добавление 0,05 % углеродных нанотрубок величина коробления уменьшилась на 74 % и составила 1,73 мм.

При проведении работы нами было установлено, что приведенный метод расчета предсказывает КЛТР эпоксидного связующего до концентрации углеродных нанотрубок 0,05

% и позволяет оценить коробление композиционного материала исходя из свойств компонентов, входящих в ее состав и технологических параметров формования.

Исследована зависимость влияние содержания углеродных нанотрубок на КЛТР модифицированного связующего. Снижение КЛТР при содержании углеродных нанотрубок 0,05 % достигает 12 %. Дальнейшее увеличение концентрации модификатора не приводит к уменьшению КЛТР эпоксидного связующего при данном методе диспергирования углеродных нанотрубок. Проведенные исследования показали уменьшение коробления при концентрации модификатора 0,05% на 74% от величины отклонения от плоскостности пластинки из композиционного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Афанасьев А.В., Дудченко А.А., Рабинский Л.Н.* Влияние тканых слоев на остаточное напряженно-деформированное состояние изделий из полимерных композиционных материалов // Электр. журнал «Труды МАИ». – 2010. – №37.-65 с.

2. *Voigt, W*. (1889) Theoretische Studien über die Elastizitätsverhältnisse der Krystalle. Annalen der Physik, 38, 573-587. http://dx.doi.org/10.1002/andp.18892741206

3. *Pan, N*. (1996). The elastic constants of randomly oriented fiber composites: a new approach to prediction. Science and Engineering of Composite Materials, 5(2), 63-72.

4. *Isaac M. Daniel and Ori Ishai*, Engineering Mechanics of Composite Materials, Oxford University Press, 1994.

5. *Молодцов Г.А., Биткин В.Е*. Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композитных материалов. М.: Машиностроение, 2000

6. *Семенова Е.Г*. Основы моделирования и диагностики антенных устройств бортовых комплексов: монография. СПб.: Политехника, 2003

MANUFACTURING OF DIMENSIONAL STABILITY STRUCTURE WITH CNT-MODIFIED POLYMER

Obvertkin I., Pasechnik K.

Forzaloko1@ya.ru

Supervisor: A. Vlasov, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor

(Krasnoyarsk Science Centre of the Siberian Branch of Russian Academy of Science, Krasnoyarsk)

In the present work was considered the following: the explanation of changing resin's properties caused by additives such as CNTs; the mathematical model of influence of CNTs content on the CFRP. The results of influence CNTs content on CTE epoxy resin were also shown. The analyze of influence CNTs content on the flat panel distortion made of CFRP was conducted.

УДК 504.5+620.3

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Пинчук Г.Р.

ujif1401@gmail.com

Научный руководитель: О.А. Ананьева, д.х.н., доцент

(Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Институт атомной энергетики, г. Обнинск)

Выявлены основные экологические риски при производстве наноматериалов. Обобщены возможные воздействия наночастиц на окружающую среду и человека исходя из физико-химических особенностей их поведения, вне зависимости от компонентного состава наноматериала и способа производства. Отражены проблемы оценки экологической безопасности при производстве наноматериалов.

Современные достижения в области создания новых поколений функциональных и полифункциональных наноматериалов затрагивают важнейшие сферы человеческой деятельности: промышленное производство, медицину, защиту окружающей среды, создание альтернативных энергетических источников и многие другие. Однако, как любые технологии, производства наноматериалов несут в себе определенные экологические риски [1]. Ряд ученых предсказывают, что и современные, и нанотехнологии следующего поколения могут обладать разрушительной силой в виду недостаточной изученности последствий возможного воздействия их на окружающую среду и человека [2].

Фундамент наноматериалов – наночастицы обладают комплексом физических, химических, биологических свойств и воздействий (в том числе токсическим), которые часто кардинально отличаются от свойств этих же веществ в макроскопической форме сплошных фаз или макроскопических дисперсий. Наноматериалы разнообразны по своему химическому составу и потенциальному применению, но всем им присуще такое уникальное качество, как необычайно высокая химическая активность, так как «половина атомов в частице размером 5 нм находится снаружи, значит высокоповерхностные энергии неизбежно обеспечивают возникновение новых химических реакций, отличающихся от реакций с аналогичным более объемным материалом» [1].

Наноматериалы очень разнообразны и с трудом поддаются классификации. Существуют различные виды классификации наноматериалов в зависимости от того, какие параметры заложены в их основу - структура, химический состав, метод синтеза (происхождение), размер [3, 4, 5]. Но какими бы они ни были по природе, органические, неорганические или гибридные всем им свойственны проблемы нанобезопасности [6]. Как отмечается в [1] эксперты указывают, что определенные области нанотехнологий могут счесть рискованными для инвестиций, если при проведении исследований и проектировании производств не будет учтена их экологическая безопасность.

Проанализировав большинство современных широко применяемых технологические методов производства наноматериалов как химических (плазмохимический, лазерный, механохимический, криохимический и другие синтезы), так и физических (испарение и конденсация в инертном или реакционном газе, электрический взрыв проводников, механическое измельчение, детонационная обработка и другие) мы пришли к выводу, что все они имеют общий комплекс экологических рисков.

Первая группа рисков – попадание наночастиц при производстве нанопорошков, жидкостей и наноаэрозолей в рабочую зону (чистота химического состава нанопродуктов зависит только от чистоты исходного сырья [6]). Характеризуется комплексом последствий: попаданием мелкодисперсионных наночастиц и аэрозолей в воздух и возможной взрывоопасностью. Может быть обусловлен лишь чрезвычайной ситуацией, непрофессионализмом технологических операторов, нарушением правил упаковки и транспортировки.

Знакомство с исследованиями представленными в источниках [5, 7, 8] позволяют сделать вывод, что на практике, для снижения данной группы рисков чаще всего используются только меры индивидуальной защиты (сокращение воздействия опасностей на работников с помощью средств специальной защиты и спецодежды, изолирование людей от опасности) и технический контроль за безопасностью (герметизация оборудования, вентиляция, вытяжные шкафы, соблюдение правил пожаро- и взрывобезопасности и другие), вместо мер по снижению опасности самого источника. Однако во многих современных научных исследовательских проектах по нанобезопасности предлагается внедрять в производство принцип «Safety by Design» [8, 9]. Согласно этому принципу экологическую безопасность следует закладывать в дизайн наноматериалов изначально, еще на стадии их разработки. Это может быть достигнуто путем использования наноформ, инкапсулированых в микро или макроформу, модифицирования поверхности нановеществ и других способов. Например, авторы работы [8] предлагают при этом использовать принципы стратегии «Drug Discovery and Development» (давно и успешно применяется в фармацевтике), а в статье [10] описан

метод экспериментального биомоделирования для оценки рисков воздействия нанокомпозитов на живой организм.

Учитывая последние исследования, управления рисками воздействия при производстве наноматериалов на здоровье человека и экологическую безопасность может быть ранжировано в зависимости от их эффективности (таблица 1).

Таблица 1

Ранжирование элементов управления экологическими рисками при производстве наноматериалов

Ранг элемента управления	Элемент управления экологическим риском
I	Дизайн наноматериалов, закладывающий безопасность на стадии их разработки
II	Полное удаление экологически опасных элементов из технологической цепи производства (путем замены процесса или отдельных реагентов)
III	Минимизация рисков путем замены самого способа производства или исходного вещества менее опасными.
IV	Непрерывный мониторинг среды с использованием технических средств контроля, направленный на предотвращение возникновения рисков
V	Непрерывный административный контроль выполнения оперативных процедур с целью сведения к минимуму выбросов в рабочую зону
VI	Применение средств индивидуальной защиты и оперативные мероприятия

В реальных условиях производства наиболее эффективным с точки зрения обеспечения безопасности является сочетание всех составляющих элементов системы управления рисками.

Вторая группа рисков – непосредственное воздействие на здоровье человека при контакте с наноматериалами, а также на человека и окружающую среду при потреблении и эксплуатации нанопродукции и переработке отходов ее потребления. В научной литературе пока нет описания стандартных испытательных методик для измерения воздействия наночастиц на человека, еще неизвестно, все ли наноматериалы несут риск его здоровью, однако в [1] указывается, что в связи с уникальностью наноматериалов используемые в настоящее время методологии для проведения оценок риска токсикологических параметров, а также анализа жизненного цикла продукции, содержащей наноматериалы, могут оказаться неэффективными.

Анализ источников [5, 1, 10, 11, 12] показал, что несмотря на активно внедрение нанотехнологий в производство проблема оценки опасности и последствий распространения наночастиц в окружающей среде остается на начальной стадии решения. Как отмечает автор [2], существуют полярные точки зрения на проблему безопасности наноматериалов для живых объектов: одни заявляют о полной их безвредности, другие, наоборот, выражают серьезную озабоченность их распространением.

На наш взгляд, это обусловлено недостаточной методической обеспеченностью процедуры идентификации новых наночастиц в как в природных средах, так и живых организмах, а также еще слабой изученностью. На сегодняшний день нет какой-либо общепринятой теории, объясняющей механизм влияния на человека или окружающую среду тех или иных наноразмерных структур с учетом особенностей их состава, строения их поверхности и реакционной способности.

Следовательно, необходимы дополнительные исследования, чтобы в полной мере оценить физико-химические особенности поведения наноматериалов при взаимодействии с биологическими системами (в таблице 2 представлены некоторые из них).

Таблица 2

Экологическое воздействия наноматериалов основанное на общих особенностях

Свойства наноматериалов		
Небольшие размеры и разнообразие форм наночастиц	Высокая адсорбционная активность	Высокая способность к аккумуляции
- Изменение функций биоструктур в результате связывания наночастиц с нуклеиновыми кислотами, белками, встраивание в мембраны, проникновение в клеточные структуры. - Процессы переноса наночастиц в окружающей среде с воздушными и водными потоками, их накопления в почве, донных отложениях могут значительно отличаться от поведения макрочастиц	- Возможна адсорбция на наночастицах различных контаминантов и облегчение их транспорта внутрь клетки, что резко увеличивает токсичность последних. - Большинство наноматериалов обладают гидрофобными свойствами или являются электрически заряженными, что усиливает процессы адсорбции на них различных токсикантов и облегчает их проникновение в организм	- Из-за малого размера наночастицы могут не распознаваться защитными системами организма, не подвергаться биотрансформации и не выводиться из организма, что ведет к их накоплению в растительных, животных организмах и микроорганизмах, к передаче по пищевой цепи и в результате – к увеличению их поступления в организм человека

На сегодня приняты и действуют несколько подходов к оценке токсичности для окружающей среды химических веществ, производимых в промышленном масштабе, в которые включены и наноматериалы, но нет ни одного нормативного документа, регламентирующего их безопасность. Рассмотрим конкретно имеющиеся нормативные регламенты. Так, основной документ Европейского союза – регламент REACH (сокращение от англ. Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals – регистрация, оценка, авторизация и ограничение химических веществ), регулирующий производство и оборот всех химических веществ в странах Евросоюза [13]. Данный регламент предписывает оценивать потенциальный экотоксикологический эффект наноматериалов (как, впрочем, и других химических веществ), если объем производства превышает 1 т/год, то это краткосрочное биотестирование с участием водных беспозвоночных и водорослей, если объем больше 10 т/год, то проводятся дополнительные испытания с рыбами. Однако в [5] отмечается, что нельзя прогнозировать опасные воздействия наноматериалов только на основе сведений о токсичности, либо, напротив, безвредности макрочастиц одного и того же химического состава. Автор пишет, что необходимо также учитывать такой фактор, как их растворимость, так как при оценке опасности в природной среде водорастворимые наночастицы, пересекающиеся по размерам с природными кластерами, могут вносить основной вклад в токсические свойства как природных, так и сточных вод.

В РФ в рамках ФЦП «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в РФ на 2008–2011 годы» было разработано 11 документов внедрения (например, МР 1.2.0037-11; МР 1.2.0024-11; МУ 1.2.2875-11; МУ 1.2.2743-10, МУ 1.2.2636-10 и др.). Разработаны и утверждены отечественные гигиенические нормативы содержания приоритетных наноматериалов в объектах окружающей и производственной среды: ОБУВ в воздухе рабочей зоны диоксида титана, однослойных углеродных нанотрубок, ОДУ серебра в воде водоемов и ОДУ серебра в питьевой воде (ГН 1.2.2633-10), обоснован ОБУВ наночастиц магнетита Fe_3O_4 в воздухе рабочей зоны, равный 0,4 мг/м^3 [14]. Для атмосферного воздуха установлены нормативы (ГН 2.1.6.2604-10) для естественно образуемых взвешенных частиц, циркулирующих в атмосфере (фракции $PM_{2,5}$ и PM_{10}). Но в связи с типологическим разнообразием наноматериалов и непрерывным выход на рынок новых синтезируемых нанопродуктов данных нормативных документов явно недостаточно. Работа по созданию единой системы нормативно-методических документов, регламентирующих процедуры оценки безопасности и контроля наноматериалов на всех уровнях (определение приоритетов, пробоотбор, токсиколого-гигиеническая оценка, анализ и нормирование, контроль и надзор, оценка рисков) и на всех стадиях жизненного цикла наноматериалов (разработка – производство –

транспортировка – хранение – оборот – применение – утилизация) должны вестись непрерывно. В частности, как отмечается в [1], среди разрабатываемых в США стандартов, касающихся нанотехнологий, около 40% посвящены вопросам безопасности, а около 23% – вопросам метрологии, а в Японии доля финансирования работ, связанных с метрологией, составляет 18 %, а доля финансирования работ в области нанотехнологий, изучающих риск отрицательного воздействия на здоровье и окружающую среду, составляет 30% [1]. Информации о государственной поддержке и финансировании подобных проектов в России найти к сожалению, не удалось. Однако, в РФ функционирует достаточно разветвленная и многочисленная сеть коммерческих испытательных и аналитических лабораторий, организованных на базе различных профильных НИИ, осуществляющих разностороннюю деятельность по обеспечению безопасности современной нанопродукции, потребляемой в стране.

Проведенное исследование позволяет утверждать, что проблемы, связанные с безопасностью наноматериалов и научным сообществом и занимающимся их производством бизнесом, оцениваются весьма объективно, поэтому начатые работы по стандартизации, метрологическому обеспечению и оценке их экологического воздействия будут продолжены по мере развития нанотехнологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Анциферова И.В., Макарова Е.Н.* Методы производства наноматериалов и возможные экологические риски // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2013. Т.15. №4. С.59-67

2. *Houdy P., Lahmani M., Marano F.* Nanoethics and Nanotoxicology Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-642-20177-6 (дата обращения 02.05.2019)

3. *Rodriguez H.* Nanotechnology and Risk Governance in the European Union: the Constitution of Safety in Highly Promoted and Contested Innovation Areas // NanoEthics. 2018, vol.12, No 1, pp. 5–26. DOI: 10.1007/s11569-017-0296-3 (дата обращения 03.05.2019).

4. *Erkimbaev A. O., Zitserman V. Yu., Kobzev G. A, and Trakhtengerts M. S.* Nanoinformatics: Problems, Methods, and Technologies//Scientific and Technical Information Processing, 2016, vol. 43, No. 4, pp. 199–216. DOI: 10.3103/S014768821604002X (дата обращения 03.05.2019).

5. *Потапов А.И. и др.* Безопасность наночастиц и наноматериалов для окружающей и производственной среды // Гигиена и санитария. 2013. № 3. С. 8-14.

6. *Ковалева Н. Ю., Раевская Е. Г., Рощин А. В.* Проблемы безопасности наноматериалов: нанобезопасность, нанотоксикология, наноинформатикахимическая безопасность. 2017. Т. 1, № 2, С. 44–87. DOI: 10.25514/CHS.2017.2.10982 (дата обращения 03.05.2019).

7. *Oksel C. et al.* Evaluation of existing control measures in reducing health and safety risks of engineered nanomaterials // Environ. Sci.: Nano. 2016, No 4, pp. 869-882. DOI: 10.1039/C6EN00122J (дата обращения 04.05.2019).

8. *Hjorth R., van Hove L., Wickson F.* What can nanosafety learn from drug development? The feasibility of “safety by design” // Nanotoxicology. 2017. V. 11, No. 3, P. 305-312. DOI: 10.1080/17435390.2017.1299891(дата обращения 04.05.2019).

9. Nanosafety Cluster Compendium. Электронный ресурс: https://www.nanosafetycluster.eu/uploads/files/pdf/2017_NSC_Compendium.pdf (доступ свободный, дата обращения 04.05.2019)

10. *Соседова Л.М.* Некоторый опыт оценки воздействия на организм факторов окружающей среды в экспериментальных условиях // Гигиена и санитария. 2014. № 6. С. 94–98.

11. *Терехова В.А., Гладкова М.М.* Инженерные наноматериалы в почве: проблемы оценки их воздействия на живые организмы // Почвоведение. 2014. № 1. С. 82–90.

12. *Великородная Ю.И., Почепцов Ф.Я.* Наночастицы как потенциальный источник неблагоприятного воздействия на окружающую среду // Медицина экстремальных ситуаций. 2015. № 3(53). С. 73–77.

13. REACH-18. Электронный ресурс: https://echa.europa.eu/reach-2018 (доступ свободный, дата обращения 04.05.2019).

14. *Онищенко Г.Г. и др.* Развитие системы оценки безопасности и контроля наноматериалов и нанотехнологий в Российской Федерации // Гигиена и санитария. 2013. № 1. С. 4–11.

ENVIRONMENTAL RISKS IN THE PRODUCTION OF NANOMATERIALS

G. Pinchuk

ujif1401@gmail.com

Supervisor: O. Ananieva, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor

(*National Research Nuclear University MEPhI. Institute for nuclear power engineering, Obninsk)*

The main environmental risks in the production of nanomaterials are identified. The possible effects of nanoparticles on the environment and humans are generalized based on the physical and chemical characteristics of their behavior, regardless of the component composition of the nanomaterial and the method of production. The problems of environmental safety assessment in the production of nanomaterials are reflected.

УДК 54.057

ПРОРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ Al_2O_3

Поликарпова К.С., Хайруллин А.Р.

polikarpova.ksenya@yandex.ru, hayrullin.94@inbox.ru

Научный руководитель: С.В. Спиридонов, ст. преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В статье представлена проработка синтеза металлокерамического покрытия на основе оксида алюминия Al_2O_3 с добавлением частиц меди. Продемонстрированы результаты синтеза покрытия, его свойств.

Металлокерамика – это искусственный материал, представляющий собой гетерогенную композицию металлов или сплавов с неметаллами (керамикой). Другие названия: керметы, керамико-металлические материалы, спеченные антифрикционные материалы, твердые сплавы.

Керметы сочетают свойства керамики: высокие твердость и сопротивление износу, тугоплавкость, жаропрочность и другие и металлов: теплопроводность, пластичность, т.е. обладают комплексом свойств, интегрирующим характеристики нескольких компонентов. Свойства керметов зависят от свойств наполнителя и матрицы, а также объемного соотношения и адгезии между ними. Неметаллические фазы в керметах придают им требуемые эксплуатационные характеристики, так как обладают ими в свободном состоянии. Содержание керамической фазы в керметах колеблется от 15 до 85% по объему. Металлическая матрица в керметах объединяет твердые частицы в единый композиционный материал, обеспечивая изделиям необходимую прочность и пластичность. В этих структурах атомы металла образуют одну из типичных для металлов кристаллических решеток – кубическую гранецентрированную или объемно-центрированную, или гексагональную. Атомы неметалла находятся в октаэдрических или тетраэдрических пустотах между металлическими атомами.

Металлокерамики находят широкое применение в различных областях науки и техники – машиностроение, электротехника и электроника. Данные материалы используются для изготовления изоляторов разнообразного назначения. Тонкие пластины металлокерамики применяются как подложки для монтажа микропроцессоров и связанных с ними элементов и схем.

В данной работе были рассмотрены методы синтеза металлокерамических покрытий. В ходе литературного обзора были рассмотрены методы получения керамики на основе оксида алюминия и методики синтеза медных наночастиц. На их основе предложен метод получения композитного металлокерамического покрытия. Синтез осуществлялся из порошков методом спекания, так как данный метод и используемые материалы являются технологически доступными. Процесс проводится в III этапа: I этап – подготовка раствора прекурсора для керамики, II этап – синтез наночастиц меди, III этап – получение металлокерамического покрытия.

На первом этапе осуществлялась подготовка раствора прекурсора. Необходимые массовые соотношения реагентов измерялись с помощью лабораторных аналитических весов. Нонагидрат нитрата алюминия помещался в термостойкий стакан и растворялся в дистиллированной воде, далее к раствору добавлялся глицин и размешивался с помощью магнитострикционной мешалки до получения однородного раствора. При постоянном размешивании проводился нагрев до 100°C, при этом pH поддерживался между 2 и 3. В ходе синтеза раствора протекала следующая реакция:

$$2Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O + 6NH_2CH_2COO \rightarrow Al_2O_3 + 6NH_2CH_2COONO_2 + 12H_2O$$

На втором этапе происходило получение наночастиц меди. Данный процесс происходил путем восстановления глюкозой. Гидрооксид натрия, сульфат меди и глюкозу растворяли в воде. Полученный раствор глюкозы добавлялся в теплый раствор сульфата меди. В стакан, содержащий сульфат меди и глюкозу, при интенсивном перемешивании малыми порциями добавлялся раствор гидрооксида натрия. Осадок в виде оксида меди Cu_2O образуется примерно через 4,5 часа. Из всех методов получения, изолированных наночастиц метод осаждения из коллоидных растворов обладает наиболее высокой селективностью и позволяет получать стабилизированные нанокластеры с очень узким распределением по размерам, что весьма важно для использования наночастиц в качестве наполнителей в керамике.

На третьем этапе осуществлялась сушка образца и его обжиг. В готовый горячий раствор керамики добавлялся раствор медных частиц и интенсивно перемешивался. Полученный раствор подвергался сушке в лабораторном сушильном шкафу в температурном диапазоне 110-120°C в течение 3,5 часов. После сушки осуществлялся кальцинирование материала. Образцы в тиглях помещались в муфельную печь и выдерживались в течение 2 часов при температурах: 600°C, 800°C и 1250°C, скорость нагрева не превышала значения 2°C в минуту. В результате получался металлокерамический порошок. Для получения металлокерамического покрытия порошок измельчался и формовался методом горячего прессования. Порошок подвергался прессованию на подложку при температуре t=200°C и давлении P=300 бар.

Полученное покрытие исследовалось с помощью сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss Auriga Crossbeam. Проведена оценка морфологии и толщины полученного покрытия (рисунок 1, 2).

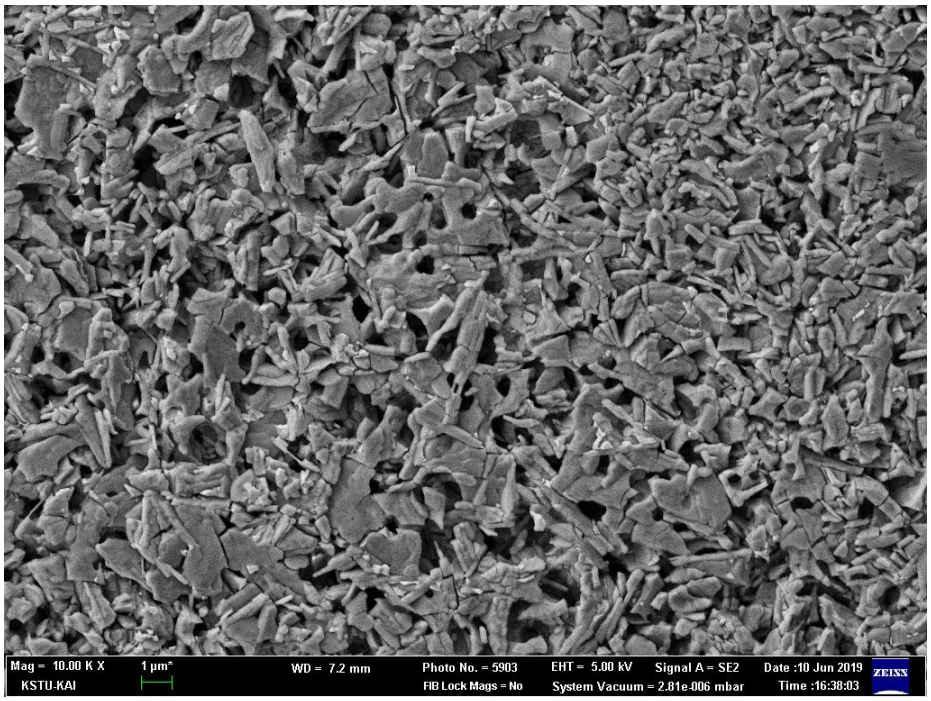


Рисунок 1. Металлокерамическое покрытие на основе оксида алюминия с наночастицами меди

На снимке наблюдается ярко выраженная развитая морфология, неоднородность структуры и наличие кристаллитов.

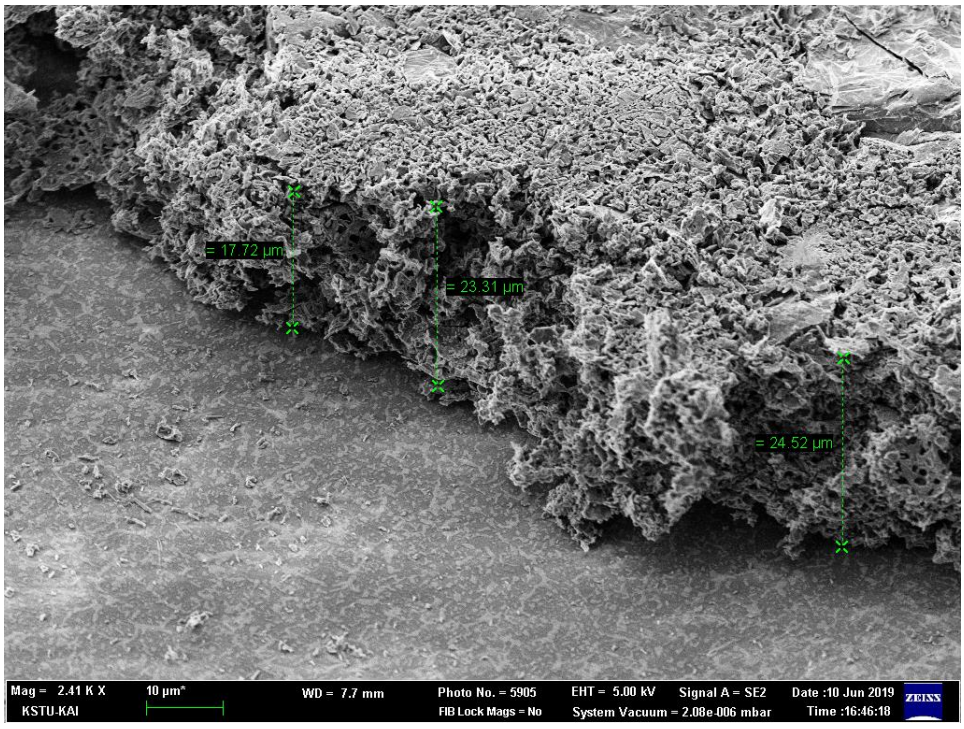


Рисунок 2. Оценка толщины металлокерамического покрытия

В ходе оценки толщины полученного покрытия среднее значение составило 30 мкм.

Проведен ренгенофлуоресцентный микроанализ, в результате которого подтверждено соответствие элементному составу металлокерамики оксида алюминия (Al_2O_3) с наночастицами меди, также сделан вывод об успешности проведенной технологии синтеза.

Полученное металлокерамическое покрытие обладает хорошими теплоизоляционными свойствами благодаря развитой структуре, также материал является диэлектриком. Данное покрытие может найти широкое применение в различных областях электроники и техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Karthikeyan, J.* Ceramic coating technology / J. Karthikeyan, M.M. Mayuram // India. –Т. 13. – July 1988. – 139-156 с.

2. *Karim, M.R.* Synthesis of alumina particles and surface characterization / M. R. Karim [et al.] // The Open Colloid Science Journal, 2011. – 32-36 с.

3. *Хасанов О.Л.* Наноструктурная керамика: учеб.для вузов / О.Л. Хасанов, З.Г. Бикбаева —Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2009. - 3 с.

4. Керамика [Электронный ресурс]// Словари и энциклопедии на Академике, 2000. URL: https://academic.ru/dic.nsf/enc_colier/6322/КЕРАМИКА

5. *Hu Y.* In Situ Synthesis of Cuprous Oxide/Cellulose Nanofibers Gel and Antibacterial Properties / Y. Hu [et al.] //Computers, Materials & Continua. – 2018. – Т. 56. – №. 3. – с. 517-527

PROCESSING OF TECHNOLOGY FOR SYNTHESIS OF METAL-CERAMIC COATINGS-BASED ALUMINUM OXIDE Al_2O_3

Polikarpova Kseniya, Khairullin Aidar

polikarpova.ksenya@yandex.ru, hayrullin.94@inbox.ru

Supervisor: Sergey Spiridonov, Senior Lecturer

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

This article is devoted to the development a synthesis of metal-ceramic coating based on aluminum oxide Al_2O_3 adding copper particles. Results of coating synthesis and their properties have been demonstrated.

УДК 621.383

ЭЛЕМЕНТЫ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Сагадиева С.М., Гайнуллин Р.Р., Мальцев А.А.

sagadiyeva.s@mail.ru

Научный руководитель: С.В. Спиридонов, ст. преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В данной работе рассмотрен принцип работы полимерных солнечных элементов. Представлена конструкция фотоэлектрического преобразователя с добавлением углеродных нанотрубок в активный слой. Проработана технология выравнивания массива нанотрубок в полимерных слоях методом диэлектрофореза.

В настоящее время особое внимание уделяется экологически чистым возобновляемым источникам энергии. Один из возможных способов обеспечения энергией осуществляется с помощью солнечных элементов, которые благодаря разделению заряда на p-n-переходе при освещении структуры преобразуют энергию солнечного излучения в электрический ток.[1] Сейчас все более активно исследуются солнечные ячейки на основе полимерных материалов. Это связано с тем, что такие фотоэлементы имеют многообещающие технологические преимущества и сравнительно дешевое производство.

Почти все известные виды полимерных фотоэлектрических ячеек можно разделить на две основные группы.[2] Первая группа - это батареи с бинарной структурой, в которых фотоактивные компоненты донорного и акцепторного типа наносятся отдельными слоями (рис. 1(а)). Вторая - батареи с объемным гетеропереходом, в которых есть только один фотоактивный слой, представляющий собой смесь донора и акцептора (рис. 1(б)).

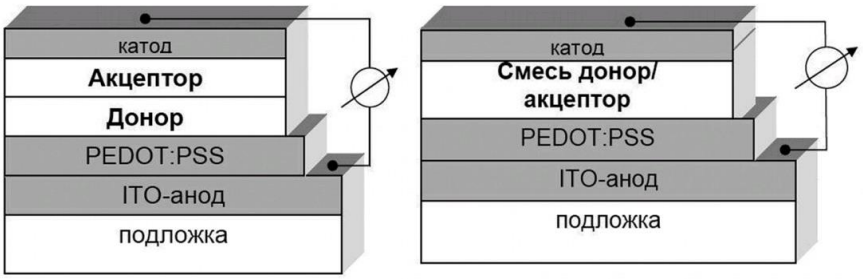


Рисунок 1. Конфигурация полимерных солнечных ячеек (а) планарного типа, (б) – с «объёмным гетеропереходом»

В батареях обоих типов под действием света происходит фотоиндуцированный процесс разделения зарядов на границе раздела слоев донора и акцептора. В батареях с объемным гетеропереходом этот процесс имеет место по всему объему активного слоя ячейки, где есть контакт донора и акцептора.

Фотоэлектрические ячейки, в которых активный слой представляет собой смесь донорного и акцепторного материалов, являются наиболее перспективными. Во-первых, это связано с тем, что при реализации объемного гетероперехода площадь контакта между фазами донора и акцептора, как правило, намного порядков больше, чем в батареях слоистого типа. Это значительно увеличивает эффективность поглощения фотонов. Во-вторых, такие структуры можно модифицировать добавлением различных примесей, таких как нанотрубки, которые также повышают эффективность ячейки.

В активном слое, который представляет собой объемный гетеропереход, полупроводниковой матрицей служит широко распространенный poly(3-hexylthiophene) (P3HT).[3] Важным преимуществом P3HT является высокая подвижность носителей заряда, которая позволяет достигать высоких плотностей тока в фотоэлектрических ячейках вплоть до 11-12 мА/см^2. Спектр поглощения P3HT достигает почти 700 нм.

В качестве наполнителя часто используются различные наноразмерные структуры, такие как нанотрубки. Они перспективны в связи с возможностью многократного поглощения и более быстрого отвода заряда к электродам, а также могут иметь широкий спектр поглощения. В данной работе рассматривалась возможность выравнивания углеродных нанотрубок методом диэлектрофореза.[4]

Диэлектрофорез основан на воздействии переменного электрического поля на объекты с собственным зарядом.[5] В результате происходит ориентация нанотрубок и их направленное движение вдоль действующего поля. Диэлектрофоретическая сила в основном зависит от размера частицы, величины и степени неоднородности приложенного электрического поля (градиент амплитуды или фазы).[6,7] Вектор данной силы зависит от полярности вынужденного диполя. Полярность определяется проводимостью и поляризацией микрочастицы и окружающей ее среды.

Собранная установка включала источник переменного напряжения в виде низкочастотного генератора, блок дополнительного усиления для доведения уровня сигнала до нужного значения и тестовый стенд с фиксацией электродов и кюветы. Контроль рабочих режимов осуществлялся с помощью осциллографа EZ Digital DS-1080. К генератору, через операционный усилитель, были подключены два медных электрода, на которые подавалось переменное напряжение амплитудой 50В при различных частотах. Между электродами располагалась кюветка с коллоидным раствором из УНТ.

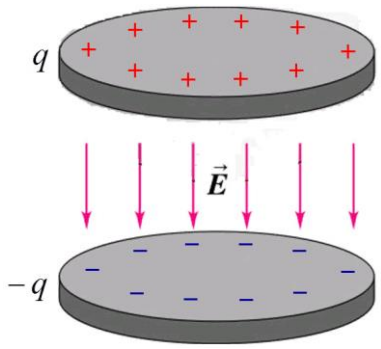


Рисунок 2. Принцип работы метода диэлетрофореза

На поведение нанотрубок в электрическом поле влияет ряд факторов, наиболее важным из которых является вязкость раствора. Поэтому в нашей работе в качестве раствора использовался аналогичный P3HT полимер с такими же физическими свойствами, вязкость которого мы регулировали добавлением растворителя.

Образцы исследовались на сканирующем электронном микроскопе Carl Zeiss Auriga Crossbeam.

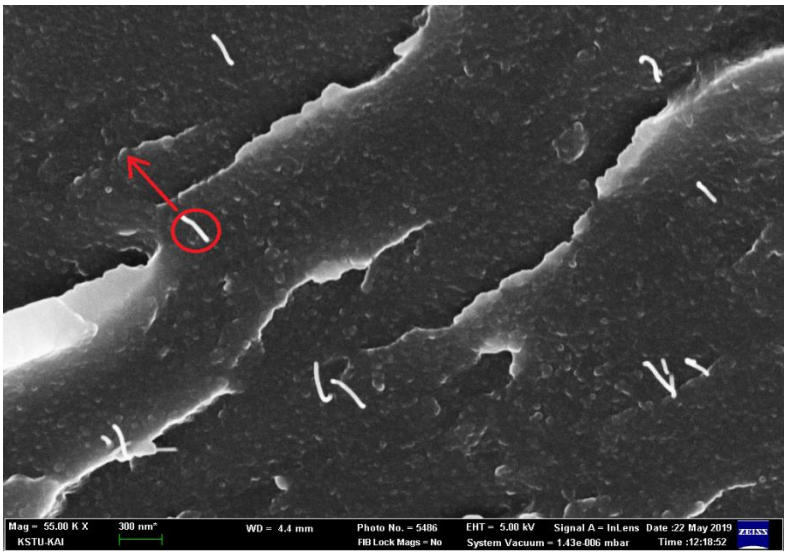


Рисунок 3. СЭМ-изображение образца

На СЭМ-изображении образца наблюдаем НТ, сориентированные в одном направлении. Таким образом, проработан метод, который может быть использован для получения вертикально-ориентированных углеродных нанотрубок в полимерных слоях солнечных ячеек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Алферов Ж.И., Андреев В.М., Румянцев В.Д.* Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики // Физика и техника полупроводников. 2004. Т. 38. № 8. С. 937-948.

2. *Трошин П.А., Любовская Р.Н., Разумов В.Ф.* Органические солнечные батареи: структура, материалы, критические параметры и перспективы развития // Российские нанотехнологии. 2008. Т. 3. № 5-6. С. 56-77.

3. *Chaudhary S. et al.* Hierarchical placement and associated optoelectronic impact of carbon nanotubes in polymer-fullerene solar cells //Nano Letters. – 2007. – Т. 7. – №. 7. – С. 1973-1979.

4. *Алафердов А.В.* Исследование процессов формирования и свойств структур на основе многослойного графена и многостенных углеродных нанотрубок : дис. … канд. физ.-мат. наук : 01.04.07 / А.В. Алафердов. – Нижний Новгород, 2016. – 18 с.

5. *Naieni A.K., Nojeh A.* Dielectrophoretic deposition of carbon nanotubes: The role of field frequency and its dependence on solution conductivity. Microelectronic Engineering, 2014, 114, pp. 26-30.

6. *Hakonda M., Shiragami N.* Separation of dead cells from culture broth by using dielectrophoresis. Progress in Biotechnology, 2000, Vol. 16, pp. 53-58.

7. *Zhen S.H. et al.* Advances in Numerical and Experimental Study of Dielectrophoretic Assembly of Carbon Nanotubes. Materials Science Forum, 2013, Vol. 745-746, pp. 430-435.

SOLAR CELLS ELEMENTS WITH CARBON NANOTUBES

Sagadiyeva S., Gaynullin R., Malcev A.
sagadiyeva.s@mail.ru
Supervisor: S. Spiridonov, Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

This paper reviews the principle of polymer solar cells operation. A photoelectric converter construction added with carbon nanotubes in active layer is presented. The nanotubes in polymer layers are aligned by developed technology with dielectrophoresis method.

УДК 537.525

ЗАГАДКА ШАРОВОЙ МОЛНИИ

Садыкова К.С., Хасьянов Т.А.
ks_sadykova@mail.ru
Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

В данной статье были рассмотрены шаровая молния, ее свойства, теории возникновения и попытки создания в лабораторных условиях.

Шаровая молния – одно из самых загадочных природных явлений. До сих пор не выяснено, как она появляется, где, при каких условиях и существует ли вообще.

Шаровая молния – явление редкое, на сегодняшний день не воспроизводимое искусственным путём, а потому вокруг неё столько загадок и тайн. Все сведения об этом явлении известны со слов очевидцев, которые, к сожалению, не являются учеными и не имеют исследовательской жилки.

Лишь однажды ученому удалось встретиться с шаровой молнией, но это имело печальный итог. Это произошло в Петербурге в 1753 году с российским физиком Г.В.Рихманом. Во время исследования, которое он проводил в грозу, в его домашнюю лабораторию через прибор для изучения электрических явлений попала шаровая молния, которая коснулась головы профессора Рихмана и стала причиной его гибели.

Вследствие редкости явления и некомпетентности людей, которые видели ее, характеристики этого явления достаточно сильно разнятся. Но в целом, шаровая молния представляет собой светящийся сгусток энергии сферической формы, который возникает в грозу (рис.1.).

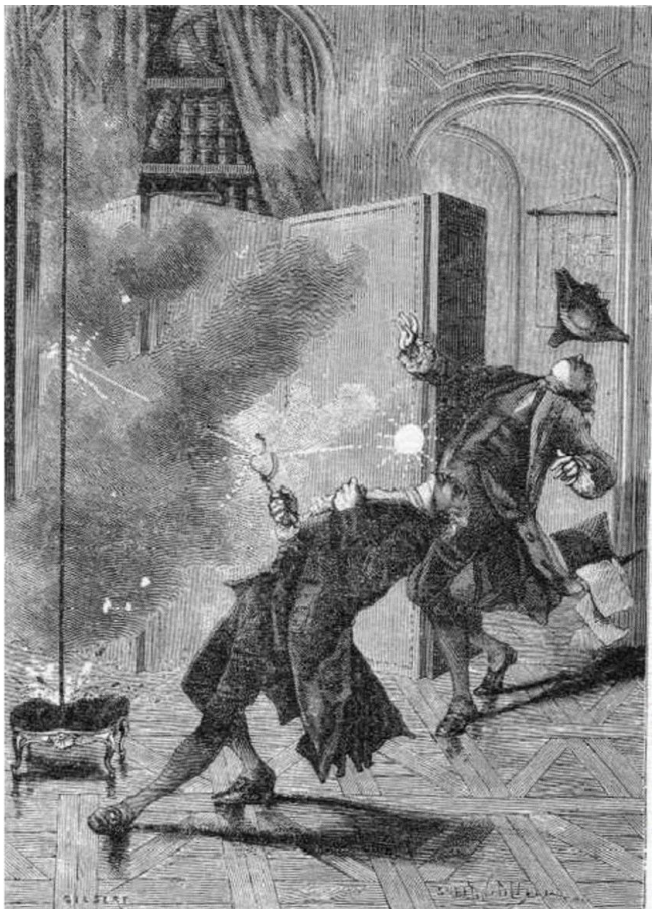


Рис.1. Шаровая молния

Она имеет следующие физические свойства [1]:

1. Ее размер достигает в диаметре от 10 до 40 сантиметров.

2. Очевидцы описывают шаровые молнии самых разнообразных цветов: голубого, синего, фиолетового, пурпурного, зеленого, серого, чёрного, но чаще всего красного, жёлто-красного и желтого, которые затем сменяются ярко-белым свечением.

3. Температура огненного шара достигает 14000 кельвинов.

4. Продолжительность жизни молнии небольшая: всего несколько секунд, но редко встречаются молнии, живущие и до минуты.

5. В большинстве случаев, она заканчивает своё существование, рассеиваясь в воздухе или взрываясь с оглушительным хлопком.

6. Шаровая молния двигается достаточно медленно, но по совершенно непредсказуемой траектории.

7. Те, кто находился в непосредственной близости с ней, отмечали резкий и неприятный запах, который напоминал горящую серу или окислы азота.

Теории возникновения

Существует множество теорий, объясняющих природу происхождения шаровой молнии, но ни одна из них не была доказана. Некоторые ученые говорят о том, что шаровая молния напоминает газовый разряд [2-6], который образуется в результате пробоя воздуха в стоячей электромагнитной волне с критической амплитудой. Есть теории, которые гласят о том, что ядром шаровой молнии является переплетенная ячеистая структура, которая создаёт каркас из нитей плазмы. Существуют версии, по которым причиной возникновения молнии является интерференция электромагнитных волновых пучков, возникающая во время молнии в атмосфере. По кластерной гипотезе И.П. Стаханова, предложенной в 1934 году, шаровая молния состоит из тяжёлых положительных и отрицательных тонов, перераспределение

которых сильно затрудняет гидратация ионов. Также по исследованиям, проводимым на Тибетском плато, в спектре шаровой молнии были обнаружены такие вещества, как железо, кремний и кальций. Они являются составляющими почвы. Это позволяет сделать вывод о том, что удары молний очень сильно нагревали поверхность земли, и поверхностный слой земли становится сгустком плазмы, порождающим шаровую молнию.

Попытки воссоздания в искусственных условиях

Многие учёные, начиная ещё с Николы Тесла, пытались получить шаровую молнию в лабораторных условиях. Все они создавали газовый разряд и предпринимали попытки привести его к сферическим условиям. В недавних экспериментах американские учёные пытались создать подобие молнии на основе тлеющего разряда над раствором электролитов. Но ими были получены лишь начальные стадии электрического заряда, во время которых создаётся «плазмоид», отдалённо напоминающий шаровую молнию. Во всех попытках доподлинно неизвестно совпадают ли свойства получаемого ими разряда со свойствами шаровой молнии, возникающей в природе (рис.2.).

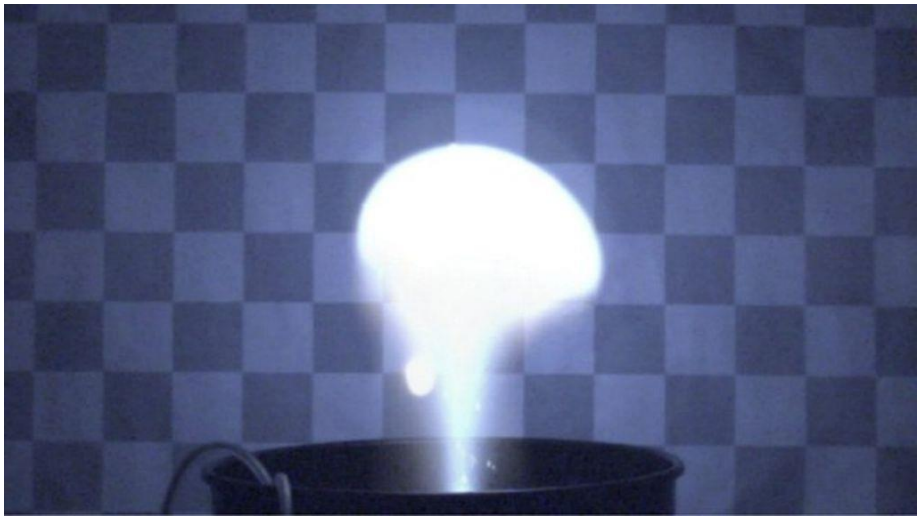


Рис.2. Шаровая молния в лаборатории

Молниевый шар диаметром 30 см в максимальной плотностью энергии $2*10^3$ Дж/см^{3}обладает запасом энергии в 1 МДж, что является большим количеством энергии. Если бы ученые смогли найти способ, при котором было бы возможно создавать условия для возникновения шаровой молнии, то можно было бы использовать ее взрыв как источник энергии. Существует молния совсем небольшое время, а выделяет колоссальное количество энергии.

Таким образом, шаровая молния и по сей день остаётся одним из интереснейших и загадочных явлений в мире. Но определённо его разгадка изменит нашу жизнь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *БарриДж.* Шаровая молния и четочная молния. Мир, 1983.-288 с.

2. *Yunusov R.F.* Theoretical study of electron concentration distribution in positive column glow discharge with longitudinal gas stream// Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 1982. Т. 43. № 4. С. 1100-1103.

3. *Yunusov R.F.* Distribution of electron concentration in a discharge with nonuniform ionization over the cross section// Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 1985. Т. 48. № 5. С. 591-592.

4. *Yunusov R.F.* Characteristics of a longitudinal glow discharge // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 1985. Т. 48. № 2. С. 214-219.

5. *Yunusov R.F*. Distribution of electron concentration and the electrical field intensity in a discharge with transverse gas pumping// Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 1988. Т. 54. № 1. С. 76-80.

6. *Yunusov R.F*. Distribution of electron concentrations in a discharge with nonlinear sources for appearance and disappearance of particles// Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 1990. Т. 59. № 2. С. 990-994.

THE BALL LIGHTNING SECRET

Sadykova K., Khasyanov T.
ks_sadykova@mail.ru
Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Techical University names after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

In this article the ball lightning, its properties, theories of occurrence and attempts of creation in laboratory conditions were considered.

УДК 621.3

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МИКРОСКОПНОЙ ТЕХНИКИ

Сафин И.Р., Халилов Р.Р.
ilsaf.safin.00@mail.ru
Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной статье написана история создания современных оптических, электронных и зондовых микроскопов, рассмотрены основные исторические моменты, в которые происходили ключевые открытия в данной области, а также подробно описана хронология событий и фигуры, сыгравшие роль в развитии микроскопной техники.

Изучение какого-либо объекта, явления или процесса всегда происходит в двух направлениях – в теоретическом и экспериментальном. Теоретическое изучение предполагает под собой расчёты, моделирование, использование какой-либо литературы. К экспериментальному же изучению относят опыты и другие действия, проводимые непосредственно с самим объектом. Одним из таких является визуальное рассмотрение предмета исследования и наблюдения за ним. Этот способ изучения является очень действенным и применяется повсеместно. Но что делать, если объект настолько мал или настолько далёк, что его невозможно увидеть человеческим глазом? Ученые и исследователи решили эту проблему, создав различного рода телескопы и микроскопы. Но получилось у них далеко не сразу.



Рис.1. Микроскоп Янсенов

Всё началось, по сути, с появления очков, чьими создателями являлись два голландских производителя – Захарий Янсен и его отец Ханс Янсен. В 1590 году они смогли улучшить

своё изобретение и создали первый в мире оптический микроскоп, хотя такое название он получил далеко не сразу (рис.1.).

Прибор состоял из трубы и двух выпуклых линз внутри неё. Изображение благодаря такому микроскопу можно было увеличить в десять раз. Но вот прошло 19 лет и теперь уже другой еще более известный ученый Галилео Галилей изобретает составной микроскоп. Его изобретение получило название «Оккиолино» и представляло собой, по сути, ту же трубку, но уже с тремя ножками для фиксации. Внутри трубки находилась выгнутая и вогнутая линзы [1].

В 1612 году Галилей представляет свой микроскоп королю Польши Сигизмунду III. Через 7 лет изобретатель Корнелиус Дреббель, известный как изобретатель первой в мире рабочей подводной лодки, создаёт свой микроскоп с двумя выпуклыми линзами. Это была вертикальная фиксированная труба, направленная на образец, под которым находилась подсветка. Работать с таким микроскопом было не очень удобно из-за его неподвижности. В 1622 году, через 3 года после изобретения, он показывает свою установку в Риме. Тем временем «Оккиолино» Галилея благодаря его другу Джованни Феберу получает современное название «микроскоп», как аналогия со словом «телескоп».

В 1664 году значительный вклад в развитие микроскопии вносит Роберт Гук, человек, открывший такое явление как интерференция света, постоянство температуры таяния льда и кипения воды, а также пропорциональности между упругими растяжениями, известными как закон Гука [2,3]. Этот ученый ввёл понятие «клетка», а также написал о них книгу, в которой также много информации о различных видах растений и насекомых, которых он рассматривал уже с помощью своего микроскопа, отличие которого заключалось в том, что трубка была вставлена в лапку, что давало возможность настраивать её. Его книга получила название «Микрография» и стала бестселлером того времени [4].

Спустя 10 лет другой ученый по имени Антони ван Левенгук совершенствует микроскоп до возможности рассмотрения одноклеточных организмов. Его прибор состоял из пластинки, в которую была вставлена линза и лапки с острым наконечником напротив этой линзы, на который крепился образец. Как сама линза, так и свет, проходящий через неё, позволяли увеличить изображение до 300 раз, что было совершенно невообразимо в то время. Именно благодаря этому микроскопу были открыты одноклеточные организмы, инфузории и прочие формы (рис.2.)[5].

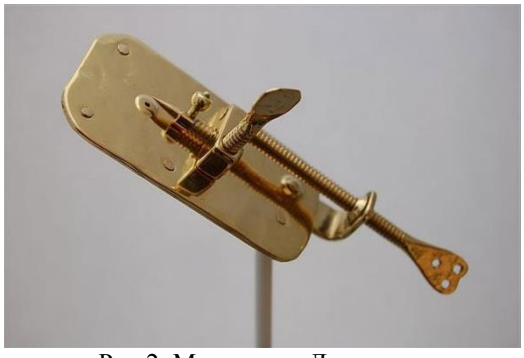


Рис.2. Микроскоп Левенгука

Через 9 лет британский естествоиспытатель Генри Клифтон Собри решает изучить структуру метеорита и создаёт поляризационный микроскоп, который уже напоминает современные микроскопы.

Далее, в 1866 году Эрнст Аббе начинает исследования, которые оканчиваются лишь через 7 лет, в 1873. За это время он ввёл число, характеризующее меру дисперсии света, которое впоследствии было названо в его честь. Также именно он разработал теорию микроскопа, благодаря которой данное устройство начало производиться по определенным стандартам, а не методом проб и ошибок, как это было ранее. Прошла более чем половина века, и в 1931 году его тёзка Эрнст Русска получает Нобелевскую премию за создание первого

электронного микроскопа, на базе которого формируется электронная оптика, как отдельное направление в науке (рис.3).

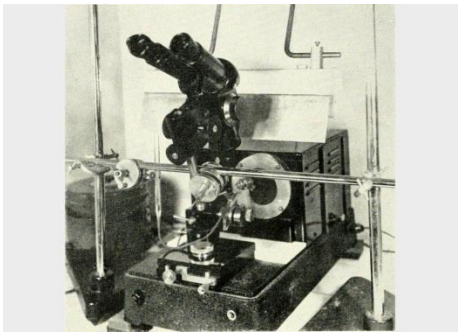


Рис.3. Микроскоп Э. Русска

Микроскоп представлял собой несколько соединённых цилиндров с различными рычагами настройки и подсветкой снизу, а его высота достигала примерно полутора метров. Через 5 лет, в 1936 году немецкий физик Эрвин Вильгельм Мюллер изобретает первый эмиссионный микроскоп. Его разрешение позволяло увеличить изображения до атомарного, а сам Эрвин стал первым человеком, который увидел атомы. К 1967 году Мюллер создаёт несколько других видов микроскопов, одним из которых является ЗАМ, зондирующий атомный микроскоп, самый первый в своём роде, который стал первым прибором, который мог химически идентифицировать каждый атом (рис.4.).



Рис.4 Микроскоп Мюллера

На основе его прототипа в 1981 Генрих Рорер и Герд Биннинг создают полноценный СТМ, сканирующий туннельный микроскоп, а позже, в 1986 году Биннинг с другим ученым создают и АСМ, атомно-силовой микроскоп (рис.5.).

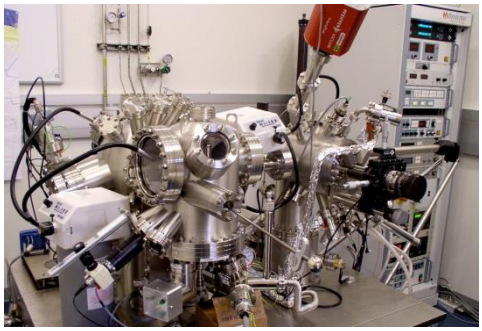


Рис.5. Микроскоп Г. Рорера и Г. Биннинга

В этот же год Герд и Генрих получают нобелевскую премию за создание СТМ. На **ихоснове**, на протяжении нескольких лет создавались другие типы микроскопов,

позволяющие изучать объект не только визуально, но и его свойства: электрические, магнитные, химические и прочие.

Именно эти микроскопы сейчас являются базовыми для изучения различных образцов. Его используют в различных областях науки, например, в фармацевтике, биохимии, материаловедении, нанотехнологиях [6-8] и других. Возможности этого микроскопа, очевидно, также превосходят возможности его предшественников. В настоящее время данные микроскопы считаются передовыми и лидирующими в своей отрасли.

В качестве заключения можно сказать, что процесс появления современной микроскопной техники был довольно длительным. Во время создания данного прибора ученые и исследователи открыли множество других законов и явлений, выявили различные формулы, теоремы и гипотезы, а также внесли вклад не только в физику, но и в другие отрасли науки в попытке создать современный микроскоп. Данный труд, определенно, был полезен тогда и полезен до сих пор, работы, знания и труды этих ученых до сих пор применяются в современной практике и исследовательской и научной деятельностях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/хронология_развития_микроскопа
2. *Юнусов Р.Ф.* Электронный курс общей физики//Новые технологии, материалы и оборудование авиакосмической отрасли – АКТО-2016. Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в двух томах. Казань, 2016. С. 1014-1019.
3. *Юнусов Р.Ф.* Электронный курс «Электродинамика» //Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли – АКТО-2016. Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в двух томах. Казань, 2016. С. 1020-1024.
4. http://oldinvent.ru/mikroskop-guka-pervyj-mikroskop/
5. https://phys-exp.livejournal.com/2211.html
6. *Юнусов Р.Ф., Юнусова Э.Р.* История и перспективы развития нанотехнологий// Современные тенденции в научной деятельности. Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции.- М.: Издательство «Перо»,2015. - С.1592-1601.
7. *Юнусов Р.Ф., Кормильцев Н.В.* Электронный курс по наноматериалам и нанотехнологиям //Современные научные исследования и разработки. 2016. № 3 (3). С.135-141.
8. *Юнусов Р.Ф.* Опыт разработки и использования электронного курса по наноматериалам // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 447-450.

HISTORY OF DEVELOPMENT OF MICROSCOPE TECHNIQUE

I. Safin, R. Khalilov
ilsaf.safin.00@mail.ru
Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

In this article, the history of the creation of modern optical, electron and probe microscopes is written, the main historical moments in which key discoveries took place in this area were considered, and the chronology of events and figures that played a role in the development of microscopic technology were described in detail.

УДК 621

ТЕХНОЛОГИЯ NANO CELL

Сурков Н.В., Сенто Д.В.
kolyasur@mail.ru
Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Статья представляет собой описание нескольких моделей дисплеев, а также технологии на основе этих моделей, их характеристики, виды, принцип работы и прочие детали. В статье также приведены сравнения технологий по различным показателям, выявлены их основные преимущества и недостатки.

Телевизор в современном мире занял обыденное и повседневное место. Мы смотрим его дома, в кафе, в университете, а иногда и в автобусе. Но далеко не все понимают, каким именно образом происходит показ движущегося изображения и какие технологии применяются для улучшения изображения.

Модели

На данный момент существует несколько моделей, на основе которых существуют современные дисплеи. О каждой из них по порядку.

OLED (Organic light emitting diode), что в переводе означает «органический светодиод». Дисплей на основе такой технологии состоит из множества органических светодиодов, которые светятся при подаче на них напряжения. На данный момент дисплеи OLED считаются одними из лучших по качеству изображения во всём мире, хотя и имеют ряд недостатков в виде недолговечности и дорогой себестоимости

Следующая модель- LCD (liquid crystal display), что в переводе обозначает жидко-кристаллический дисплей. На её основе было создано несколько видов дисплеев, но все они схожи в одном – в принципе работы. Технология основана на жидких кристаллах, которые меняют свою структуру под действием напряжения, за счет чего изменяется светопроводимость. Именно из-за этого слоя такие дисплеи получили сокращение «ЖК». На данный момент данную модель переименовали в LED (light emitting diode). Стоит отметить, что LED и OLED, несмотря на схожие названия, две совершенно разные модели. В OLED нету кристаллического слоя, светодиоды сами излучают свет, а в LED они используются лишь в качестве подсветки. Основным и наиболее популярным видом LED является IPS, который отличается высоким качеством, хорошими углами обзора и широким динамическим диапазоном (HDR режим) [1]. Также на основе этой модели существуют две похожие технологии – QLED и Nano cell.

Технологии Nano cell, QLED и OLED

Когда Samsung выпустил в свет первый QLED-телевизор, то компания LG решила создать ему конкуренцию на рынке, выпустив телевизор с похожей технологией Nano cell. Буква «Q» подразумевает под собой, что это тот же LED телевизор, но оснащенный дополнительным дисплейным слоем с квантовыми точками, которые переизлучают свет кристаллов с определенной длиной волны, выдавая при этом более чистые стандартные цвета. Суть технологии Nano Cell точно такая же, однако вместо точек используются нано частицах [2-4], от которых и произошло название. Информацию о составе или принципе работы такого слоя производители не раскрывают, однако известно, что размер одной нано частицы, увеличивающей яркость исходного изображения, составляет 1 нано метр [5]. Для сравнения, в QLED размер квантовых точек составляет от 2 до 8 нанометров. Также следует сказать, что эти две технологии, за исключением разницы в размере между квантовой точкой и элемента, в целом похожи по качеству изображения, однако LG-телевизоры с Nano Cell немного дешевле. Поэтому сравнение телевизоров с этими двумя технологиями сводится лишь к сравнению цены и дизайна [6]. Как было сказано ранее, технология Nano cell была создана

для конкуренции с QLED, но это не единственная причина. На самом деле обе технологии должны были конкурировать с OLED, моделью на основе органических диодов, которой было сказано в начале статьи. Поэтому для выявления преимуществ и недостатков Nano Cell, данную технологию следует сравнивать именно с OLED.

Сравнение Nano Cell и OLED

При просмотре высококачественного контента яркость является особым приоритетом. На сегодняшний день ситуация такова, что матрицы Nano Cell выдают яркость изображения от 1000 до 2000 нит, что является показателем их огромного преимущества по сравнению с OLED.

В цветовом диапазоне матрица на органических светодиодах тоже уступает Nano Cell и QLED, так как последние имеют поддержку Wite Color Gamut, расширенный цветовой диапазон.

Точность воспроизведения цветовых оттенков у Nano Cell также выше, чем у OLED, хотя разница в преимуществе настолько мала, что, фактически, в этой категории эти матрицы ничем не уступают друг другу [7].

Отдельно стоит сказать про черный цвет, так как достичь «идеальной черноты» не так уж просто. Здесь первенство определенно забирает OLED, так как чернота – отсутствие света, поэтому достигается она лучше всего, если просто выключить светодиоды. Чёрный цвет в Nano Cell достигается отключением подсветки, но это всё равно не даёт такого же эффекта, как при отключении самого пикселя.

Также не менее важно отметить углы обзора. Реальная цветовая гамма видна только при просмотре телевизора под прямым углом, при изменении же этого угла, человек уже иначе видит оттенки цветов, хотя в самом телевизоре они, очевидно, неизменны. Именно поэтому задача производителей создать такой дисплей, цвета которого были бы одинаковы несмотря на угол обзора. И в этом более успешной оказалась технология нано частиц, хотя OLED по этому показателю находится примерно на одном уровне.

Не стоит забывать про надежность. Фундаментальный минус OLED заключается в том, что светодиоды со временем начинают выгорать, поэтому срок жизни у такого телевизора не долговечный. Плёнки Nano cell могут портиться из-за влажности и высокой температуры.

Следует упомянуть и размер телевизора. Здесь квантовые точки и Nano cell также имеют превосходство, так как они не ограничивают диагональный размер, в отличие от OLED.

Ну и конечно же, не менее важный показатель – цена. Здесь первое место заслуженно получают телевизоры OLED, цены на них гораздо выше, чем на “ЖК” телевизоры [8].

В целом, можно сказать, что и OLED, и Nano cell и QLED развиваются примерно одинаково, у каждой технологии свои преимущества и недостатки, но, по мнению экспертов, ЖК телевизоры скоро совершат еще больший прорыв, тем самым явно окончательно оставив OLED на втором месте. Лично я считаю, что на данный момент обе модели и так являются показателем прогресса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. https://review.1k.by/digital/Televizoryi_chem_otlichaiytsya_QLED_OLED_Nano_Cell_VA_i_IPS-1013.html

2. *Юнусов Р.Ф., Юнусова Э.Р.* История и перспективы развития нанотехнологий// Современные тенденции в научной деятельности. Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции.- М.: Издательство «Перо»,2015. - С.1592-1601.

3. *Юнусов Р.Ф., Кормильцев Н.В.*Электронный курс по наноматериалам и нанотехнологиям //Современные научные исследования и разработки. 2016. № 3 (3). С.135-141.

4. *Юнусов Р.Ф.* Опыт разработки и использования электронного курса по наноматериалам// Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 447-450.

5. http://vibor-tv.ru/news/lg-nano-cell.html
6. https://satworld.ru/multimedia/articles/8083-chem-otlichaetsja-nano-cell-ot-qled.html
7. http://ultrahd.su/video/nano-cell-qled-otlichiya.html
8. https://www.audiomania.ru/content/art-5229.html

NANO CELL TECHNOLOGY

N. Surkov, D. Septo
Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

The article is a description of several display models, as well as technologies based on these models, their characteristics, types, operating principle and other details. The article also provides a comparison of technologies for various indicators, identified their main advantages and disadvantages.

УДК:621.3

НАНОМЕДИЦИНА

Толеубаев Н.Е., Афандиева С.Н.
taha.tol@mail.ru, afandieva.lila@yandex.ru
Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

В 21 веке наука развивается стремительными темпами. Благодаря нанотехнологиям и наноматериалам появляется новое направление в медицине, которое получило название наномедицина. Именно наномедицина сейчас открывает всё новые методы лечения болезней, которые до сих пор являются неизлечимыми.

Введение

Все начиналось 26 декабря 1956 года на лекции одного из профессоров физики Ричарда Фейнмана, где он сказал: «There's Plenty of Room at the Bottom» («Там, внизу, полно места!»). Он предположил, что, чтобы работать с атомами, нужно создать какое-нибудь устройство, по размерам которое будет сопоставима атомам – он их назвал машинами (так был разработан термин «нанороботы»). Эти машины должны были по их же сборке и по написанной программе собирать или добавлять микровещи (предполагалось изменение атома, при подключении нанороботов). До сих пор никто не смог опровергнуть эту возможность, но и никому пока не удалось создать такие механизмы. Но, первый термин с приставкой нано употребил Норио Танигути в 1974 году, описав его так: «Изделия размеров несколько нанометров». В 1980-х годах использовал этот термин Эрик К. Дресклер в своей книге «Машины создания: Грядущая эра нанотехнологии» [1-3].

Под термином «нанотехнология» следует понимать комплекс научных и инженерных дисциплин, исследующих процессы, происходящие в атомном и молекулярном масштабе. Она предполагает манипуляции с материалами и устройствами настолько маленькими, что ничего меньшего быть не может. Говоря о наночастицах, обычно подразумевают размеры от 0,1 нм до 100 нм. Заметим, что размеры большинства атомов лежат в интервале от 0,1 до 0,2 нм, ширина молекулы ДНК примерно 2 нм, характерный размер клетки крови приблизительно 7500 нм, человеческий волос — 80 000 нм.

Нанотехнология— новая, очень мало исследованная дисциплина. Тем не менее, проводимые исследования уже дают практические результаты. Использование нанотехнологий дали открытия во многих областях науки:

- Наноиженерия
- Нанометрология
- Наномедицина и химическая промышленность
- Компьютеры и микроэлектроника

- Робототехника
- Концептуальные устройства

Таким образом, использование в нанотехнологии передовых научных достижений позволяет относить её к высоким технологиям.

Наномедицина

Одно из перспективных направлений нанотехнологий – это наномедицина. Наномедицина – это использование нанотехнологии в медицинских целях [4-8]. Главная цель этого направления заключаются в следующем: сделать так называемые «нанороботы», которые будут отвечать за доставку, за диагностику, за лечение и нейтрализации заболевания. Во всем мире финансируется всякие медицинские центры, которые разрабатывают проекты, лекарства и многое другое связанное с будущей медициной, то есть наномедицина. Финансирование происходит во всем мире, как за рубежом, так и в странах СНГ. Достижения в области наномедицины малы, так как большинство это научные проекты, но они есть, и они растут с каждым днем, разрабатывая все новые подходы к лечению. Например, в таких областях как:

Рак

В университете Райса под руководством профессора Дженнифера Веста, показали разработку нанооболочек диаметром 120 нм, покрытых золотом. Процесс уничтожения раковых опухолей в мышцах проходит следующим образом. Для начала запускают наночастицы внутривенно для связывания с раковыми клетками при помощи соединения антител или пептидов с поверхностью нанооболочки. После связки наночастиц с раковыми клетками, применяют инфракрасный лазер, который, не нагревая область тела человека, нагревает золото, что достаточно для смерти раковых клеток (рис.1.).

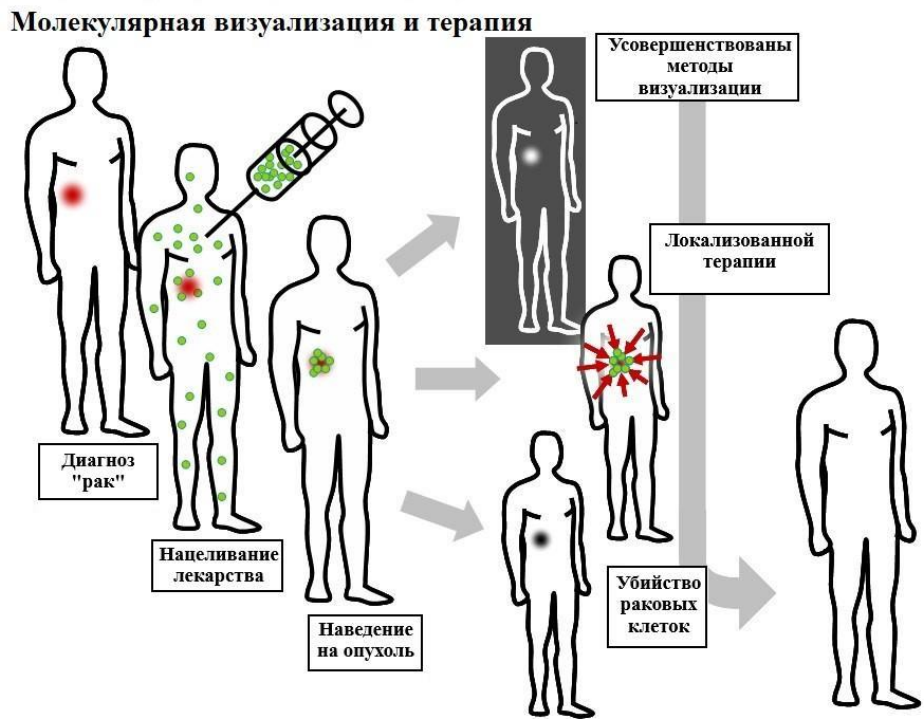


Рис.1. Процесс уничтожения раковых опухолей в мышцах

В Новосибирском Исследовательском Центре (Университет) Цитологии и Генетики СО РАН уже многие годы ищут способ лечения с самой злокачественной и летальной болезнью – раком головного мозга “глиобластома”. Чтобы нейтрализовать человеческую опухоль придется еще долго разрабатывать такие лекарства и методы, но уже были поставлены эксперименты на крысах, которые дали результаты. Борьба с раком получило

название – тераностика. Это сочетание диагностики и терапии. Созданный аппарат должен обнаруживать очаг заболевания, проникать в него и начинать лечение. В основу входит природные материалы и углеродные нанотрубки. Первое - это иммуноглобулин, и на основе данного белка получают маленького, в пределах наноразмерах - наночастицы, которые при поступлении в организм диагностируют размеры опухоли и уже после останавливают процесс увеличения. Второе является капсулой для транспортировки лекарственных веществ, так как углеродные нанотрубки хорошо принимают электромагнитные излучения, и при испускании их сжигаются раковые клетки. В чем же заключаются плюсы такой борьбы? В том, что не будет больше угрозы на живой организм от химии или от лазерной терапии.

Хирургия

В этой области медицины ярких достижений пока нет, но эксперименты существуют, которые дают надежду на применение нанотехнологий. Один из экспериментов показал, как сплавили воедино 2 куска мяса. Этот процесс проходил следующим образом: 2 куска мяса приложили очень плотно друг к другу, вдоль шва была налита зеленая жидкость. Эта жидкость содержит в себе золотую нанооболочку. Далее используются инфракрасные лучи, которые проходят вдоль шва и за счет хорошего поглощения два куска мяса были сварены воедино. Таким образом, можно очень хорошо использовать такой метод, чтобы приостановить потери крови при операции.

Визуализация

Визуализация – это представление протекания процессов в организме. Человек еще не знает, как на тонком уровне проходит метаболизм и как организм поглощает лекарства. В этом им поможет наночастицы. Эти метки – это сочетание квантовых точек и протеинов, которые проходят через мембрану клетки. Из-за наноразмеров световая частота заставляет светиться наночастицы, некоторые из них и вовсе накаливаются добела. Таким образом, прослеживают разные виды опухоли.

Тканевая инженерия

Тканевая инженерия – это возможность восстановление утраченных органов без трансплантации. Целью тканевой инженерии является конструирование и выращивание живых (не искусственных) функциональных тканей и регенерация поврежденных тканей. Создаются биологические заместители, которые будут выполнять цели тканевой инженерии. Один из материалов, которые могут быть использованы в биологических заместителях – это углеродные нанотрубки. Углеродные нанотрубки зафиксированы на плоскостях, не имеют цикличности, таким образом, могут быть в роли каркасного материала. Из-за его хорошей электрической проводимости, процесс рост клеток увеличивается. Кстати, большинство белков имеют волокнистую структуру с диаметром волокна менее 1 микрометра. Например: диаметр коллаген (белок соединительной ткани) равен диапазону от 50 до 500 нм, что сравнимо с диаметром углеродных нанотрубок.

Доставка лекарств

Доставка лекарств на молекулярном уровне решит проблемы с доставкой очага заболевания и будет направлена полностью на распределение лекарств, а не на их протекание по всему организму. Такие технологии уже есть – это наночастицы, дендримеры и липосомы (рис.2.).

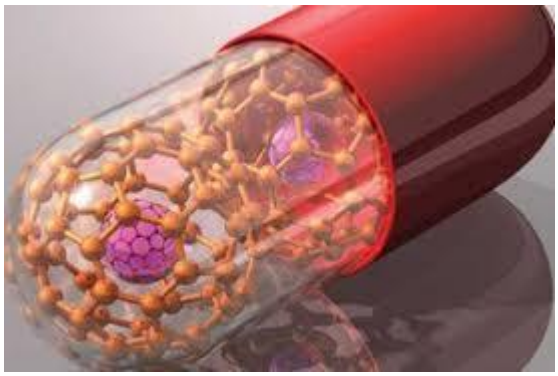


Рис.2. Наночастицы, дендримеры, липосомы.

Благодаря их структуре они могут преодолеть препятствия и иметь такое свойство, как нерастворимость в воде. За счет маленьких размеров и поверхностных свойств наноматериалов, лекарства будут доставлены к определенным клеткам. Такой подход снизит затраты и дозы лекарственных препаратов.

Нанороботы

Наверное, самое ожидаемое и будущее медицины XXI века – это нанороботы. Все, что было выше упомянуто, а именно борьба с раком, хирургия, представление протекания процессов в организме, тканевая инженерия и доставка лекарств, все эти функции в будущем будут делать нанороботы (рис.3).



Рис.3. Наноробот

Исследователь в области наномедицины Роберт Фрайтас из Института Молекулярной Сборки, говорит, что наноробот, который будет работать в кровеносной системе, да и по всему телу в целом, будет размеров 0.5-3 мкм, потому что это оптимальный размер для прохождения через капилляры. Основой для нанороботов будут считаться углероды и некоторые формы углерода. Появятся они приблизительно через 40-50 лет, но с каждым днем прогнозы идут на уменьшение (алмаз, фуллерновые композиты). Сердцем нанороботов будет считаться ЯМР (ядерный магнитный резонанс), сделан он будет из углерода-13 (нуклид химического элемента С атомный номер 6, массовое число 13), а не из натурального изотопа углерода-12(нуклид химического элемента С атомный номер 6, массовое число 12), поскольку углерод-13 имеет нулевой ядерный магнитный момент. Управлять нанороботом будет дистанционно врач. Он будет наблюдать, сканировать и управлять процессом лечения. Также напрямую будет осуществляться ремонт клеток. Нанороботы будут вставлять свои иглы, таким образом, они входят в клетку, тем самым не убивая их. Там будут перестраиваться и строиться каждая молекула в клетке, а повреждённые клетки и вовсе будут восстановлены. Внесение разных модификаций в клетку, в ДНК, также будет осуществляться нанороботами. Также в будущем будет возможна имплантация

в человеческий мозг, и благодаря этому знания человека будут намного увеличены, и мозговая активность будет выше (научно доказана, что человеческий мозг задействовано на 10 процентов) [5-8]. Делая итог, можно сказать, что нанороботы смогут освободить медицину от зависимости человеческих рук.

Вывод

Наука и технологии не стоят на месте. Буквально вчера никто и не знал, что есть мир молекул и атомов, а сейчас мы уже близки к открытию нового, чего-то неизведанного нам человеческим глазом. Нанотехнологии дают нам понять, что мы многого не знаем, как сказал профессор физики Ричард Фейнман: «There's Plenty of Room at the Bottom» («Там, внизу, полно места!»), что верно. Благодаря нанотехнологиям открываются новые и новые сферы науки, которые будут передовыми в будущем. Наномедицина является одной из надежд в развитии медицины. Она сможет побороть болезни, которые сейчас являются не излечимыми, как когда-то простой грипп. Может, за счёт восстановления клеток в человеческом организме мы затронем тему бессмертия, и человек будет промежуточным звеном в этом мире.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Юнусов Р.Ф., Юнусова Э.Р.* История и перспективы развития нанотехнологий// Современные тенденции в научной деятельности. Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции.- М.: Издательство «Перо»,2015. - С.1592-1601.
2. *Юнусов Р.Ф., Кормильцев Н.В.* Электронный курс по наноматериалам и нанотехнологиям //Современные научные исследования и разработки. 2016. № 3 (3). С.135-141.
3. *Юнусов Р.Ф.* Опыт разработки и использования электронного курса по наноматериалам// Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 447-450.
4. *Шимановский Н.Л., Епинетов М.А., Мельников М.Я.* Молекулярная и нанофармакология — Физматлит, 2010. — 624 с.
5. *Самсонова Н.В.* «Наномедицина: перспективы и развития».
6. *Юнусов Р.*Ф., *Юнусова Э.Р. Нанотехнологии в медицине// Actualscience. 2016. Т. 2, № 1. С. 19-20.*
7. *Кабешев Б.О., Бонцевич Д.Н., Бордак С.М.* «Нанотехнологии и их возможности».
8. *Пальцев М.А.* «Нанотехнологии в медицине и формации».

NANOMEDICINE

Toleubaev N., Afandieva S.
taha.tol@mail.ru, afandieva.lila@yandex.ru
Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

In the 21st century, science is developing rapidly. Thanks to nanotechnology and nanomaterials, a new direction in medicine is emerging, which is called nanomedicine. Nanomedicine is now opening up new methods of treating diseases that are still incurable.

УДК-539.194

QLED ИЛИ ДИСПЛЕИ НА КВАНТОВЫХ ТОЧКАХ — ПОЧЕМУ ЗА НИМИ БУДУЩЕЕ?

Фаретдинов И.С., Сафин И.Р., Николаев В.С.
FilshatS11@mail.ru
Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной статье рассмотрены особенности, способы получения квантовых точек; преимущества Qled телевизоров по сравнению с обычными ЖК-дисплеями.

Мы люди 21 века живем в постиндустриальном обществе. Большинство людей постиндустриального общества — потребители. Это на самом деле так. Мы пользуемся современными технологиями (на данный момент в повседневной жизни это беспроводная зарядка, беспроводные наушники, телевизоры с ультратонкими дисплеями и т.д.), но не задумываемся как они работают. Но мы, студенты технического вуза, задались вопросом о том, как работает дисплей современного технологичного телевизора и приступили к изучению данной темы.

Наиболее популярными являются LED или жидкокристаллические телевизоры. Принцип их работы основан на явлении поляризации светового потока. Поляризаторами являются жидкие кристаллы, молекулы которых чувствительны к электростатическому и электромагнитному полю и способны поляризовать свет. На рис.1. показана принципиальное устройство ЖК телевизора, где помимо жидких кристаллов вы можете увидеть и два поляризационных фильтра. В отсутствие жидких кристаллов свет, пропускаемый первым фильтром, практически полностью блокируется вторым.

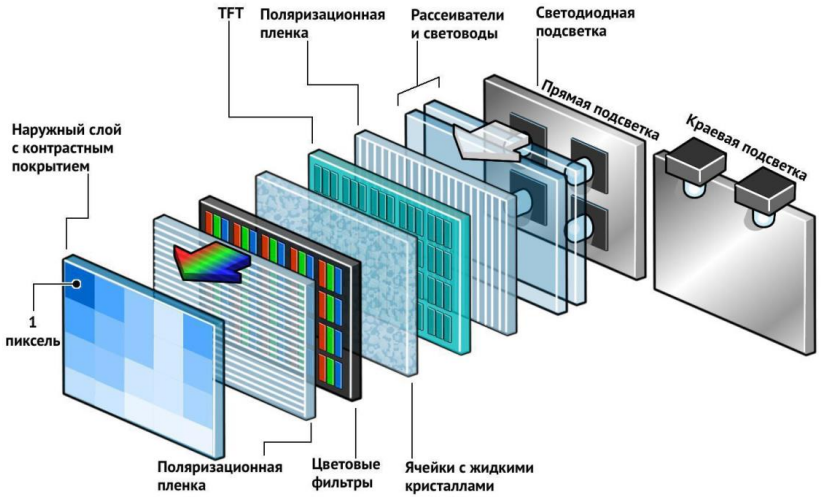


Рис.1. Схема ЖК телевизора.

Роль матрицы с жидкими кристаллами в том, что кристаллы работают как жалюзи, они пропускают свет или перекрывают его. Это значит, что одни сегменты светятся, а другие нет таким образом формируется изображение. А в качестве источника света (подсветки ЖК-матрицы) используются флуоресцентные лампы с холодным катодом.

Более современными и дорогостоящими принято считать ЖК телевизоры с квантовыми точками (QLED -quantumdotslight-emittingdiode). Отличие от LED заключается лишь в том, что в данных телевизорах применяется технология подсветки с помощью квантовых точек [1-3].Дисплеи с нанокристаллами изготавливаются по следующей технологии: на тонкую пленку наносятся квантовые частицы с длиной волны соответствующие красному и зеленому цвету. За этим слоем расположены светодиоды синего цвета. При попадании света от диода,

квантовые точки начинают излучать свои красные и зеленые цвета. И как раз в процессе смешивания всех трех цветов получается идеальный источник белого света. Такое устройство телевизоров с квантовыми точками позволяет решить целый ряд проблем, имеющихся у обычных ЖК-дисплеев с подсветкой. Главными преимуществами технологии QLED являются:

1. Идеальный белый свет на экране.
2. Минимальные потери в контрасте и яркости. Все цвета светового спектра имеют одинаковую степень интенсивности. Ни один цвет не преобладает над другим.
3. Цветовой охват увеличивается на 50%.
4. Экономия энергии. Для примера, телевизоры QLED потребляют 140-195 Вт/час, а ЖК – 200-250 Вт/час.

А что же понимают под термином «квантовые точки» (КТ)?

КТ представляют собой полупроводниковые кристаллы размером лишь несколько нанометров, находящиеся во внешней среде. Квантовыми их назвали потому, что в них можно заметить квантовые свойства электронов [4-8].Свойства этих полупроводниковых нанокристаллов зависят от их размеров. При столь сильном уменьшении размеров кристаллов происходит существенная перестройка энергетического спектра носителей: с уменьшением размеров растет расстояние между энергетическими уровнями. При переходе электрона на более низкий уровень происходит испускание фотона, от энергии которого зависит цвет, испускаемый точкой. Так, изменяя размеры этих кристаллов, можно целенаправленно настраивать оптические свойства. КТ можно получить различными способами. Но создание КТ затрудняется тем, что размеры частиц намного меньше длины световой волны.

Чтобы получить КТ, требуется трехмерная потенциальная впадина, в которой носители заряда будут ограничены по всем существующим направлениям. На рис. 2 изображены КТ, сформированные в области раздела арсенида галлия и арсенида алюминия-галлия.

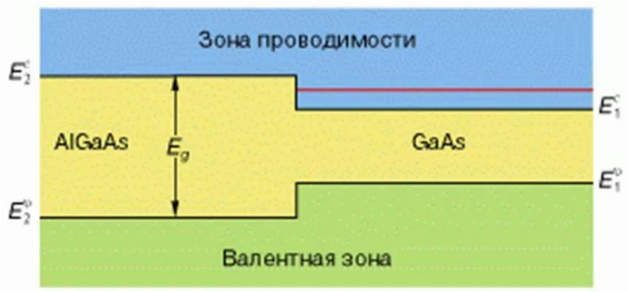


Рис.2. Структура КТ.

В процессе роста в полупроводник AlGaAs вводят вспомогательные (дополнительные) примесные атомы. Электроны, находящиеся в этих атомах, перемещаются в место с наименьшей энергией, такой областью служит полупроводник GaAs. Но, в то же время, частицам не по силам далеко «убежать», потому что их притягивают атомы примеси, которые получили положительный заряд. Почти все электроны останавливаются вблизи гетерограницы со стороны GaAs и формируют двумерный газ. Создание КТ, в первую очередь, начинается с нанесения на AlGaAs ряда масок, имеющих круглую форму. Далее целиком удаляют слой AlGaAs и частично слой GaAs. С помощью предыдущих операций электроны оказываются ограниченными (запертыми) в цилиндрах.

Помимо GaAs, соединениями для создания КТ могут быть использованы: CdSe, ZnSe, CdTe, CdS, ZnS, InAs, InP, Si и т.д.

Изменяя соединение (материал) и процессы, появляется возможность получать частицы с различными свойствами и формой.

КТ очень широко применяются во многих отраслях современной жизни, потому что они приносят даже больше пользы чем сами полупроводники. Например: их используют в производстве солнечных батарей с более высоким КПД, светодиодов, одноэлектронных

транзисторов, квантовых компьютеров. К сожалению, в медицине вопрос применения КТ остается открытым. Технологии создаются, но еще не известно, как будут действовать КТ на человеческий организм, так как при их получении применяются токсичные вещества.

Итак, на наш взгляд, КТ — это технология будущего, у которой большие перспективы на дальнейшее развитие. Только в рассмотренном нами QLED телевизорах мы видим сколько превосходств. К ним можно отнести отличную цветопередачу, высокую детализацию, идеально чистые цвета, в том числе и белый, меньшую энергопотребляемость.

Но у этой медали есть и другая сторона. Первый недостаток — это разрешение этих экранов. Дело в том, что в этих экранах разрешение 8k и 4k, соответственно Full HD Ultra и Ultra HD, а хорошо нам знакомые телепередачи и программы транслируются в 1k, очень редко разрешение бывает выше. Получается, что у нас есть отличный телевизор с высоким разрешение, а сигнал идущий к нам не соответствует такому формату. Таким образом получается, что наша «картинка» не сильно отличается от обычного ЖК телевизора.

Второй минус — это очень высокая цена этих телевизоров, именно QLED телевизоры являются самыми дорогими в мире. Как мы уже знаем это обусловлено нелегкими способами получения КТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Игнатьев И.В., Козин И.Э.* Динамика носителей в полупроводниковых квантовых точках. — СПб., 2005 — 126 с.

2. *Юнусов Р.Ф., Кормильцев Н.В.* Электронный курс по наноматериалам и нанотехнологиям// Современные научные исследования и разработки. 2016. №3 (3). С.135-141.

3. *Юнусов Р.Ф.* Опыт разработки и использования электронного курса по наноматериалам // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 447-450.

4. *Юнусов Р.Ф.* Электронный курс общей физики//Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли – АКТО-2016. Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в двух томах. Казань, 2016. С. 1014-1019.

5. *Юнусов Р.Ф.* Дистанционный курс общей физики// Необратимые процессы в природе и технике. Труды девятой Всероссийской конференции МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, Ч. II, С. 177-180.

6. *Юнусов Р.Ф.* Дистанционный курс «Электродинамика» // Необратимые процессы в природе и технике. Труды девятой Всероссийской конференции МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, Ч. II, С. 181-184.

7. *Тюрин Ю.И., Чернов И.П., Крючков Ю.Ю.* Квантовая физика. — Томск, 2009 —248 с.

8. https://mediapure.ru/matchast/kvantovye-tochki-quantum-dot-led-novaya-texnologiya-proizvodstva-displeev/.

QLED OR QUANTUM DOT DISPLAYS — WHY IS THE FUTURE BEHIND THEM?

Ilshat Faretdinov, Ilsaf Safin, Vladimir Nikolaev

FilshatS11@mail.ru

Supervisor: RinatYunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

This article describes the features, methods of obtaining quantum dots; the advantages of Qled TVs compared to usual LCD displays.

УДК 687.0

ТЕХНОЛОГИЯ 3DПЕЧАТИ

Халфина Г.Х., Ханнанов И.И.
khalfina2000@mail.ru, evolution8610@mail.ru
Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Данная статья посвящена описанию аддитивной технологии 3D печати, её особенностям и применению на практике.

Первая половина XXI столетия уже дала миру множество различных технологий и изобретений [1-3]. Некоторые из них прочно закрепились в повседневной жизни и уже никого не удивляют, а некоторые только начинают набирать обороты, буквально убеждая людей в том, что будущее уже рядом. К таким новым и перспективным технологиям относится также 3Dпечать.

Процесс создания объекта

3D печатью называется процесс создания реального объекта на основе 3D модели, которая создается на компьютере, а затем в формате STL передаётся в принтер, который с помощью наложения слоёв создаёт объект в трёхмерном пространстве.

Создание 3D модели для последующей печати – это достаточно долгий и сложный процесс, имеющий ряд требований и ограничений. Существует 2 способа создания 3D модели: сканирование готовой на 3D сканере для последующего копирования или редактирования, либо создание нового объекта с нуля. Оба варианта предполагают под собой использование программ для 3D моделирования. Эти программы называют слайсеры, их можно найти как в интернете в свободном доступе, так и в комплекте с самим принтером. Слайсеры отличаются от остальных программ для 3D моделирования тем, что управляются G-кодом – языком, предназначенным для аппаратов такого типа. Именно на этом языке написаны ПО для ЧПУ станков [4]. После непосредственной разработки 3D модели необходимо дать указания принтеру, в какой последовательности наносить слои для получения нужного нам объекта. Но, как уже было сказано ранее, для объекта существует ряд требований и ограничений. Для начала, ему необходимо придать правильные нормали, то есть указать принтеру, где у объекта внешняя поверхность, а где внутренняя. Второе условие, что у каждого ребра модели должно быть ровно две грани. К остальным требованиям относятся наличие толщины объекта и его целостность. Также существует ряд других требований, но они зависят от конкретного объекта [5].

Материалы для создания объекта

При успешном создании модели для её печати необходимы чернила. В 3D этими чернилами является различный материал. Чаще всего используется в основном два вида пластика: ABS и PLA. Первый вид ударопрочен, эластичен, легко окрашивается в цвета, влагостойкий и выдерживает температуры от -40 до +90 градусов по цельсию. PLA-пластик, по сравнению с первым, не такой стойкий, еще более эластичен, то есть при одинаковых нагрузках он скорее согнётся, чем сломается, имеет низкий коэффициент трения, что делает его пригодным для изготовления подшипников. Он немного дороже ABS пластика, и требует особого условия хранения, так как при избыточной влажности может начать разлагаться [6].

Но кроме пластика достаточно популярен металл. При чем это не обязательно должно быть железо, можно также использовать золото, медь, алюминий или сплав. В качестве расходного материала можно использовать еще фотополимеры или нейлон. Выбор материала для печати зависит от изделия, которое вы собираетесь изготовить. Если это какая-то геометрическая фигура, то, соответственно, можно использовать пластик, если это драгоценное кольцо – то здесь, очевидно, следует использовать металл.

Технологии печати

Несмотря на единый принцип создания модели путём наложения одного слоя на другой, существует около 10 технологий печати, каждую из которых выгодно использовать для определенного типа объектов. Например, для создания больших и тяжелых моделей, используется метод стереолитографии– отвердевание полимера. Все мы видели эпоксидную смолу, так вот, этот полимер обладает обратными ей свойствами- в обычном состоянии он жидкий, а при нагревании затвердевает. Принтер с помощью лазера послойно нагревает этот полимер, тем самым создавая необходимый объект. Такая технология имеет ряд плюсов и минусов. К плюсам относится возможность изготовления сложной, высокопрочной и габаритной детали, малое количество отходов и простота создания. Из минусов можно сказать, что сам принтер достаточно большой и тяжелый, его вес порядка двух тонн при размерах в 2 х 1.5 х 2 метра, малая скорость печати и невозможность смещать несколько расходных материалов и придать цвет детали.

Еще один достаточно интересный метод – послойное склеивание плёнок. Суть метода заключается в следующем: несколько листов, неважно, бумаги или металла, помещаются в принтер, в котором с помощью лазера или лезвия из них вырезаются определенных фигуры. Далее эти фигуры склеиваются и получается готовый объект. Недостаток такой технологии в том, что конечный этап обработки требует участие человека: он должен убрать лишние части листа и клей. Также модели из бумаги получаются не прочные, а их вид – относительно грубый, так как машинное сглаживание может привести к расслоению. Стоит учесть ограничение материалов – в некоторых принтерах нельзя использовать ничего, кроме бумаги. Из преимуществ данной технологии можно выделить возможность цветной печати и дешевизну процесс. Да и сами объекты, хоть и грубо обработаны, всё равно выглядят очень красиво.

Ну и последний процесс, о котором стоит рассказать – послойное направление. Данная технология используется в принтерах, которые продаются, что называется, «в массы». В принтер подается материал, который разогревается в печатной головке до полужидкого состояния. Далее принтер выдавливает эту смесь, вертикально нанося слой за слоем. Для вертикального нанесения обычно использует столик, который постепенно опускается вниз, но есть принтеры, где столик стоит на месте, а вверх поднимается сопло с чернилами. Из преимуществ следует отметить низкую цену, качество создания детали, возможность установки второй печатной головки, что позволяет смешивать материалы, создавать сложные элементы и наносить на детали цвета, а также относительную доступность и малогабаритность самого принтера [7].

Перспектива в будущем

На самом деле 3D принтеры, какие бы они не были, предназначены не только для печати деталей или каких-то объектов, их перспективы гораздо масштабнее. Представьте, что в будущем вы сможете создать копию любого объекта, будь то автомобиль или человеческое сердце. Уже сейчас люди на 3D принтере научились печатать органы, кожу, сложнейшие механизмы и прочие удивительные вещи. Возможности 3D принтера настолько масштабны, что специалисты в этой области являются одними из самых востребованных во всём мире.

Заключение

В заключении, хотелось бы сказать, что 3D печать, это новое и перспективное направление в науке. Мы уверены, что в будущем с помощью этой технологии люди смогут решить массу проблем в различных областях жизни.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Юнусов Р.Ф., Юнусова Э.Р.* История и перспективы развития нанотехнологий// Современные тенденции в научной деятельности. Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции.- М.: Издательство «Перо»,2015. - С.1592-1601.

2. *Юнусов Р.Ф., Кормильцев Н.В.* Электронный курс по наноматериалам и нанотехнологиям // Современные научные исследования и разработки. 2016. № 3 (3). С.135-141.

3. *Юнусов Р.Ф.* Опыт разработки и использования электронного курса по наноматериалам // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 447-450.

4. https://make-3d.ru/articles/programmy-dlya-3d-pechati-i-3d-printera/

5. https://www.cubicprints.ru/tutorials/pravila-3d-modelirovaniya-dlya-3d-pechati

6. https://www.ixbt.com/printer/3d/3d_tech.shtml

7. http://3dpr.ru/printsip-raboty-3d-printera

3D PRINTING TECHNOLOGY

X. Halfina, I. Hannanov

Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

This article is devoted to the description of additive 3D printing technology, its features and application in practice.

УДК 537.525

ОБРАБОТКА СЛОЯ МАЗУТА ПРИ ПОМОЩИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ РАЗРЯДА С ЖИДКИМ ЭЛЕКТРОДОМ

Шайхулмарданов А.В.

anvarkuf12@mail.ru

Научный руководитель: И.Г. Галеев, д.ф.-м.н., профессор

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

Представлены результаты экспериментального исследования свойств разряда с жидким электролитным электродом при обработке углеводородного сырья. Установлено влияние полярности жидкого электролитного электрода при обработке углеводородного сырья. Исследована зависимость выделения газообразных продуктов получаемых при разложении мазута от концентрации NaCl в электролите.

Введение

Современный мир тяжело представить без нефтепродуктов. Но до того момента, как нефть в виде готового продукта дойдет до потребителей, она проходит через нефтеперерабатывающие промышленные комплексы. Запасы углеводородсодержащего сырья постепенно уменьшаются, поэтому чтобы обеспечить будущее поколение нефтепродуктами, требуются экономичные и эффективные способы переработки углеводородного сырья.

Самыми много потребляемыми нефтепродуктами является горючие продукты, такие как бензин, дизельное топливо. Однако после переработки традиционным способом остаются тяжелые углеводороды. Поэтому внимание многих учёных направлено на поиски альтернативного способа переработке углеводородного сырья. Одним из наиболее перспективных способов переработки углеводородсодержащего сырья является плазмохимический способ разложения нефти и мазута на лёгкие фракции. Такой способ дает высокий выход конечного продукта, а еще появляется новые продукты – фуллерены, углеродные нанотрубки.

На сегодняшний день плазмохимическая переработка углеводородного сырья исследована для различных электрических разрядов. Известны работы по применению тлеющего разряда в области плазмохимической переработки углеводородного сырья [1-4]. В качестве исходного сырья использованы тяжелые углеводороды (нефть, мазут, битум),

а полученными продуктами являлись фуллерены и нанотрубки. Моделирование тлеющего разряда, используемого для плазмохимической обработки, является также важной практической задачей. В работах [5-7] проведено его моделирование с учетом прокачки газа.

Применение электродугового разряда исследовано в работах по переработке мазута и нефти [8,9]. В работе [8] для получения дугового разряда применены инертные газы – азот и аргон. В работе [9] описано исследования переработки углеводородного сырья с утопленными в сырьё электродами.

В литературе переработка углеводородного сырья тлеющим и дуговым разрядами описана более подробно, чем с разрядом с жидким электродом.

Экспериментальная установка

Исследование свойств разряда с жидким электролитным электродом при обработке углеводородного сырья осуществлялось на экспериментальной установке (рис. 1). Установка состоит из: 1 — стеклянная ванна с электролитом, 2 — медная пластина для подвода напряжения к электролиту, 3 — диэлектрическая стойка для прикрепления токовводов, 4 — источник питания для электрического разряда, 5 — электродвигатель, 6 — провода от источника питания, 7 — регулировочный вал, 8 — пульт управления, 9 — крепления для вертикального электрода, 10 — вертикальный электрод, 11 — исследуемый слой мазута. Для эксперимента в качестве электролита использован раствор NaCl, в качестве источника питания использован генератор постоянного тока, обеспечивающий подачу регулируемого постоянного напряжения до 5000V при номинальном токе до 0,3А. Межэлектродное расстояние регулировалась с помощью дистанционного управления.

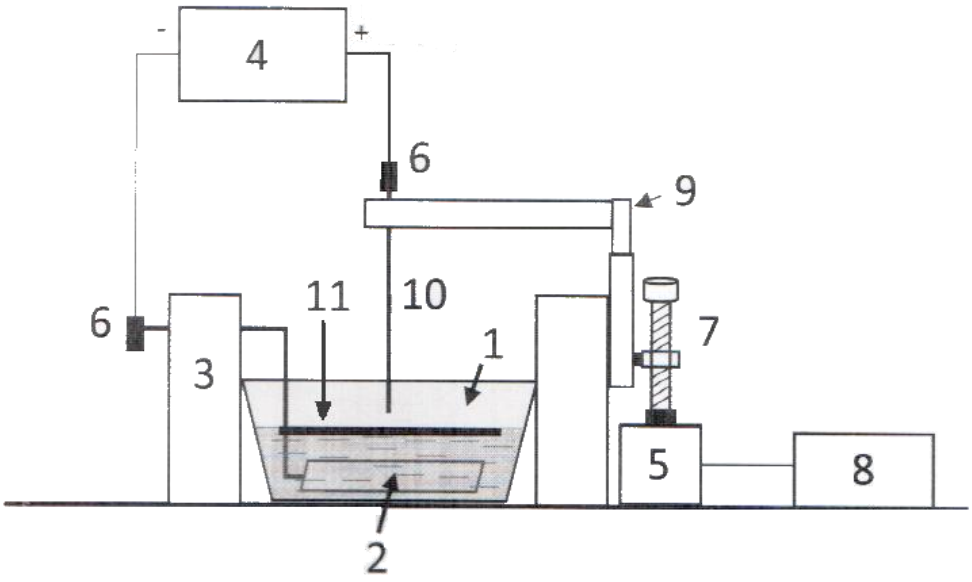


Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной установки.

Для исследования обработки углеводородного сырья электрическим разрядом с жидким электролитным электродом, выбраны следующие параметры экспериментальной установки: 1 – межэлектродная расстояния, 2 – полярность электролита.

Зажигание электрического разряда инициализировалось закорачиванием электродов с использованием дополнительного стержня. Зафиксированы вольтамперные характеристики разряда. В первой серии опытов исследованы электрические разряды с жидким анодом (Табл.1). Диаметр верхнего медного электрода S=3мм. Разряд исследован при расстояниях d = 3 мм, d = 6 мм, d = 9 мм. При d = 9 мм разряд горел не стабильно, постоянно обрывался.

Таблица 1

Вольтамперные характеристики электрического разряда с жидким анодом.

I(мА)	U(В), d=3мм	U(В), d=6мм	U(В), d=9мм
40	700	-	-
50	750	-	-
55	-	700	-
70	-	-	800
75	750	600	810
100	750	600	810

На рис. 2 представлены графики ВАХ для разных межэлектродных расстояний.

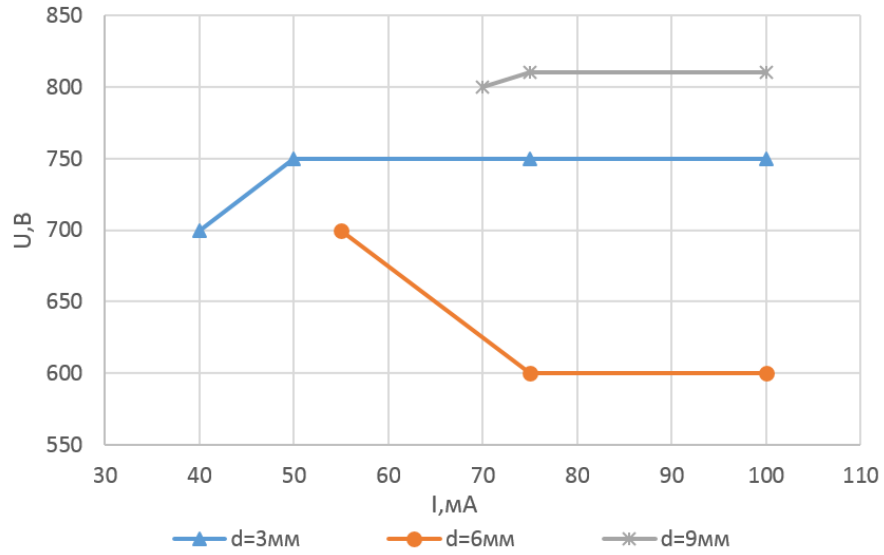


Рис. 2. ВАХ при анодном электролите.

Из графиков (рис.2) видно, что при увеличении сила тока, напряжение оказывается слабо меняющимся. Поэтому можно сделать вывод, что разряд с жидким электродом близок к тлеющему разряду. В экспериментах наблюдалось нестабильное горение электрического разряда, это связано с тем, что разряд постоянно перескакивает на свободные от мазута поверхности электролита.

Во время опытов сильно выделялись газообразные выделения продуктов разложения мазута. Разряд расталкивал углеводородное сырье, находящееся на поверхности электролита из зоны контакта разрядного шнура с электролитом, образуя отверстие на поверхности мазута. При этом мазут на краях отверстия интенсивно разлагался, одновременно за счет испарения электролита происходил эффективный теплоотвод из зоны разряда. После опытов прозрачность электролита изменялась, появлялся оттенок коричнево-желтоватого цвета, а на слое мазуте образовывался серый налет.

Заключение

Таким образом, в результате экспериментальных исследований обработки углеводородного сырья электрическим разрядом с жидким электролитным электродом выявлены следующие особенности. Установлено, что с увеличением межэлектродную расстояние изменялось горение электрического разряда. Смена полярности электролита оказывает влияние на горение разряда. Обработка углеводородного сырья электрическим разрядом с применением электролита представляет интерес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Манкелевич Ю.А.* Математическое моделирование плазмохимического пиролиза метана // Манкелевич Ю.А., Словецкий Д.И., Словецкий С.Д., Рахимова Т.В. Химия высоких энергий. 2002. – Т. 36, №1. – С. 64-72.

2. *Галеев И.Г.* Способ получения сажи, содержащей фуллерены и нанотрубки, и устройство для его осуществления // Галеев И.Г., Тимеркаев Б.А., Гисматуллин Н.К., Зиганшин Д.И., Мухамедзянов Р.Б., Тахаутдинов Р.Ш. 2012112195/05 Россия, 29 03 2015 г.

3. *Тимеркаев Б.А.* Стелющийся по поверхности тлеющий разряд и перспективы его применения // Тимеркаев Б.А., Софроницкий А.О., Андреева А.А. Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. Вып.3. 2015. С.5–9.

4. *Galeev I.G.* Obtaining fullerene-containing soot during combustion of gaseous hydrocarbons in an external electric field // I.G. Galeev, T Ya Asadullin Journal of Physics: Conference Series (2016) 669 012016.

5. *Галеев И.Г.* Электрические характеристики положительного столба продольного тлеющего разряда в осесимметричном канале переменного сечения// Галеев И.Г., Тихомиров И.А.,Асадуллин Т.Я. Известия Вузов. «Физика». -№10. -1995. -С. 37 -41.

6. *Galeev I.G.* Effect of distributed injection of atomic gas on the electric and thermal characteristics of the positive column of a low-pressure discharge // Galeev I.G., Timerkaev B.A. Journal of Engineering Physics. 1986. Т. 51. № 3. С. 1112-1116.

7. *Галеев И.Г.,* Тимеркаев Б.А. Модель положительного столба тлеющего разряда в потоке смеси газов // Галеев И.Г., Тимеркаев Б.А. Теплофизика высоких температур.-1987.-№ 5.-С.857-864.

8. *Залялетдинов Ф.Д.* Плазмохимический способ переработки мазута. // Залялетдинов Ф.Д., Тимеркаева Д.Б., Галеев И.Г. Международная молодежная научная конференция, посвященная 1000-летию г. Казани. К.: 2005г. Т. 2, С.30- 31.

9. *Ганиева Г.Р.* Разложение тяжёлых углеводородов в утопленной дуге // Ганиева Г.Р., Галеев И.Г., Гисматуллин Н.К., Зиганшин Д.И., Тимеркаев Б.А. // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. 2012. вып.1 № 4. С.184–188.

PROCESSING LAYER OF OIL USING LOW-TEMPERATURE PLASMA DISCHARGE WITH LIQUID ELECTRODE

A. Shaikhulmardanov

anvarkuf12@mail.ru

Supervisor: I. Galeev, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor

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

The results of an experimental study of the properties of a discharge with a liquid electrolyte electrode in the processing of hydrocarbons are presented. The influence of the polarity of the liquid electrolyte electrode in the processing of hydrocarbons has been established. The dependence of the gaseous product on the content of NaCl in solution.

УДК 533.6.011

РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ

Шакиров Ш.Т., Юнусов Р.Р.

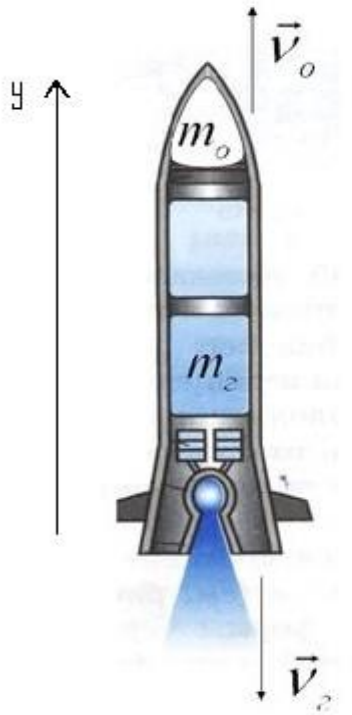
sshakirov00@mail.ru

Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, к.т.н., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В данной статье рассматривается реактивное движение. Приведены её примеры в природе и технике, а также представлено устройство реактивного двигателя и его принцип работы.

Реактивный двигатель (РД) – это такой двигатель, основанный на динамике тела с переменной массой. С точки зрения физики принцип РД объясняется законом сохранения импульса (рис.1.), то есть в момент покоя ракеты его импульс (произведение массы на скорость) равняется нулю, а когда из неё начинает выделяться струя газа, ракета начинает движение с некоторой скоростью, суммарный импульс которой по прежнему будет равняться нулю [1-3].



$$OY: 0 = m_o \cdot v_o - m_г \cdot v_г$$

$$m_o \cdot v_o = m_г \cdot v_г$$

Рис.1. Модель РД

Чтобы представить работу РД, возьмем в руки воздушный шар и надуем его воздухом, не завязывая его конец, и отпустим, а дальше просто наблюдаем. Шар будет лететь до тех пор, пока внутри него не останется воздух. Вот только перемещение воздушного шарика невозможно контролировать в отличие от ракеты.

Первооткрывателем РД является наш соотечественник Н.И. Кибальчич. Свой замысел о реактивном двигателе он написал, сидя в царской тюрьме. А самым первым человеком, который дал наибольшее представление о РД., является также наш соотечественник К.Э.Циолковский. Первый из них параллельный, в этом случае несколько РД работают одновременно, такая система позволяет, например, двигателю второго уровня давать дополнительную тягу первому уровню. Второй – последовательный, в данном положении все уровни находятся цепью и включаются только после того, когда предыдущая цепь отделяется от ракеты. Именно его труды оказались теоретической основой для дальнейшего развития современной ракетной техники. Не зря советские ракеты достигли первыми Луны, облетели и сфотографировали её с невидимой стороны для Земли, также первыми достигли поверхности планеты Венера. Несомненно, труды Циолковского имеют очень большую ценность, ведь именно из-за его идей человечество впервые смогло полететь в космос [4].

Мы считаем, что все учёные, которые что-либо изобрели, брали эти идеи из живой природы. Вы скажете, почему это так? Ответ прост, в нашем мире без подсказок природы ничего невозможно сделать; ведь моря, океаны и тому подобное содержат много загадок. Стоит всего лишь окунуться в этот мир, и вы увидите много нового. Посмотрите, например, на движение медузы, оно вам ничего не напоминает? Их перемещение в воде полностью

похоже на РД. Медузы перемещаются при помощи сокращения их купола, при этом из-под купола выдавливается вода, что и дает им ускорение в движении. Также можно рассмотреть передвижение кальмаров в воде. Это самый интересный РД созданный природой. Форма кальмаров напоминает торпеду и их справедливо можно называть «живыми торпедами». Именно ракета скопировала форму кальмара. Если кальмарам необходимо совершить рывок к чему-нибудь, они используют свой природный РД. Их тело окружено мантией, а в так называемую мантийную полость они всасывают воду. Потом они резко выбрасывают набранную воду струей через узкое сопло. В это же время кальмары складывают свое тело так, чтобы оно приобрело обтекаемую форму (вид торпеды). Вследствие этого они могут достигать скорости равной 60-70 км в час, это как движение машины по населенному пункту (т.е. города). Вы только представьте, какую они приобретают скорость для движения, не хотелось бы нам оказаться перед кальмарами. Есть еще много примеров из животного мира, которые используют реакт. дв. для своего последующего перемещения в каком-нибудь пространстве (в воде, на земле и т.д.). Подытоживая это суждение, можно сказать, что, действительно именно живая природа даёт человеку идеи для дальнейшего развития технического прогресса [5]. Интересно использование принципа РД в нанотехнологиях [6].

Также много примеров о РД имеется и в быту. Например, кто был в армии или же те, кто ходит на охоту, все, они знают какого это стрелять из огнестрельного оружия, все чувствовали на себе её отдачу. Принцип работы ружья такой же, как и в реактивной ракете. Вы все наверно знаете, как работает огнетушитель. Работа данного устройства устроена на выделении огнетушащего вещества под действием высокого давления, что создается рабочим газом, которое в свою очередь проходит через клапан огнетушителя и подается на очаг возгорания. Вы все наверно играли с ручкой, у которой есть кнопка на конце, когда были детьми. Это же тоже можно посчитать за РД, потому что, когда ставишь ручку в вертикальном положении с зажатой кнопочкой вниз и резко отпускаешь ее, и она взлетает. Все воображали это как полет ракеты. Ведь это на самом деле так, за ракету здесь принимается ручка, а за отделяющийся фрагмент кнопка ручки (только он не отделяется, а выходит из ручки). Также можно привести пример отделения пробки от бутылки шампанского при помощи выделения из жидкости газов. Бутылка с жидкостью и газами приобретает некоторую скорость и начинает двигаться в противоположную сторону от пробки. Этот наглядный пример приведен в известном мультфильме "Ну, погоди". Чем же это не пример РД?

РД (рис.2.) – это устройство, создающее необходимую силу тяги за счет преобразования внутренней энергии топлива в кинетическую энергию рабочего тела. Говоря о РД, сразу же покажется, что она очень проста, но это совсем не так, потому что надо знать все характеристики сгорания и использования топлива, какие высокопрочные материалы должны применяться в его разработке и т.д.

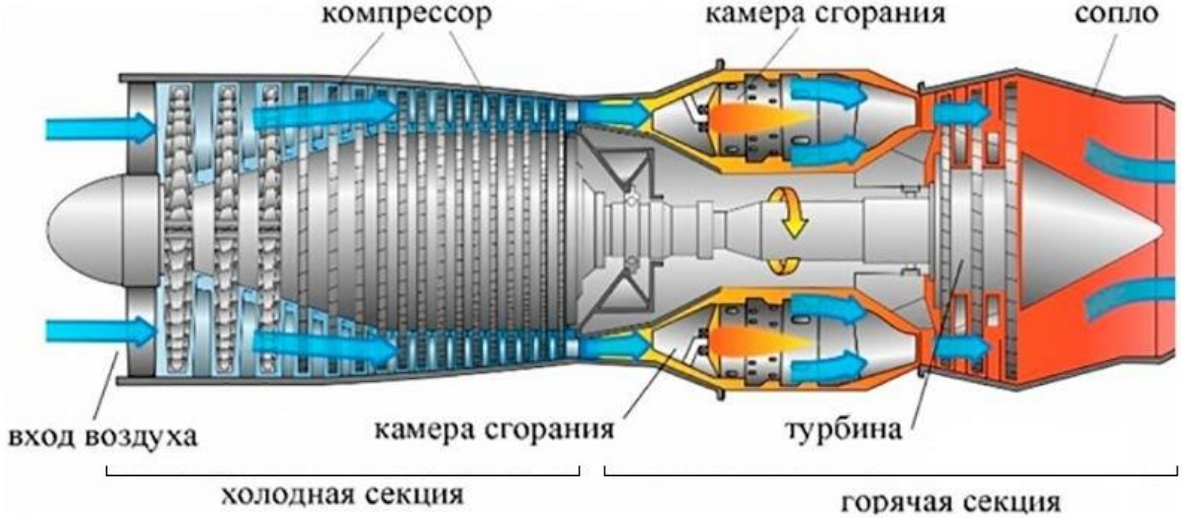


Рис.2. Схема РД.

Температура горения в «движке» реактивного агрегата достигает 2500С, поэтому конструкцию требуется держать в постоянном охлаждении.

На сегодняшний день существует несколько разновидностей реакт. двиг., основные из них приведены ниже:

1. Ядерный двигатель (в данном ракетном двигателе рабочее тело нагревается за счет энергии, которая выделяется при ядерных реакциях).
2. Электрический двигатель (здесь источником энергии служит электрическая энергия).
3. Химический двигатель (в таких двигателях химическая энергия преобразуется в тепловую энергию путем экзотермических реакций) [7].

Вы скажете: «Какой же из них больше востребованный в производстве?». На самом деле, невозможно дать на этот вопрос правильного ответа, потому что для разных достижений целей используют те, двигатели, которые больше подходят к этим условиям среды. Также возможно использование комбинированного двигателя, в котором сочетаются различные схемы элементов двигателя с целью улучшения его характеристик. Но и есть много других характеристик, которые влияют на востребованность двигателя. Это, конечно же, его надежность, эффективность, мощность. Также в выборе двигателя основным является и его стоимость, и затрата, которая идет на его конструирование.

В заключении, можно сказать, что на сегодняшний день благодаря учёным со всего мира, изучение РД продвинуто, но нельзя сказать насколько, потому что мир не стоит на месте, он развивается, может в дальнейшем найдутся люди, которые дадут новые идеи и направления для развития реактивной техники. Ведь в данный момент времени в космосе еще много неизвестных явлений и процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Юнусов Р.Ф.* Электронный курс общей физики//Новые технологии, материалы и оборудование авиакосмической отрасли – АКТО-2016. Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в двух томах. Казань, 2016. С. 1014-1019.
2. *Юнусов Р.Ф.* Электронный курс «Электродинамика» //Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли – АКТО-2016. Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в двух томах. Казань, 2016. С. 1020-1024.
3. *Юнусов Р.Ф.* Электронные курсы на платформе «Blackboard»//Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. - №11(ноябрь). - С.95-105. – URL: *http://e-koncept.ru/2016/16242.htm.*
4. https://school-science.ru/5/11/35124
5. http://www.poznavayka.org/fizika/reaktivnoe-dvizhenie-v-prirode-i-tehnike/#a3
6. *Юнусов Р.Ф.* Опыт разработки и использования электронного курса по наноматериалам// Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 447-450.
7. http://ency.info/materiya-i-dvigenie/chelovek-i-nebo/278-teoriya-rakety-tsiolkovskogo

REACTIVE MOVEMENT IN NATURE AND TECHNOLOGY

Shakirov Sh.,Yunusov R.
sshakirov00@mail.ru
Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

This article discusses jet propulsion. Its examples in nature and technology are given, and also the device of a jet engine and its principle of operation are presented.

УДК 62.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОЗРАЧНЫХ ЭКРАНИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЕВЫХ ВОЛОКОН

Юдаева В.А.
yudaeva4111@gmail.com
Руководитель: С.В. Спиридонов, старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В данной работе исследуется возможность создания прозрачного покрытия на основе полимерного композита с нововолокнами никеля, способного к избирательному экранированию частот промышленного радиодиапазона.

Проблема экранирования в последние десятилетия приобретает всё более широкий характер. Развитие новых стандартов связи и их повсеместное распространение приводит к плотному заполнению диапазонов радиочастот. В свою очередь это создаёт проблемы для функционирования ряда электронных устройств и опасность чрезмерного воздействию радиоволн на здоровье человека. Для защиты от электромагнитного излучения используются различные материалы. Одним из перспективных направлений в области экранирующих материалов является создание оптически прозрачных покрытий. Такие покрытия могут применяться для защиты оборудования и операторов где используются оптические системы ввода/вывода. В бытовых целях подобные экраны могут использоваться для защиты помещений от излишнего излучения. В последнее время всё чаще стали использоваться экранирующие материалы на основе наноразмерных компонентов. Они обладают рядом преимуществ: низкая цена материалов по сравнению с металлическими листами или сетками, возможность создавать экраны необходимой степени прозрачности и цвета, приобретение дополнительной стойкости к активным средам. [1]

В данной работе рассматривается возможность получения прозрачного экрана на основе полимера с наполнителем в виде никелевых сетчатых структур.

Обоснование выбора материалов матрицы и наполнителя

На основе изучения литературных источников предложено покрытие с использованием дисперсного полимерного композита. Данный выбор обусловлен сочетанием высоких показателей физических свойств данного материала и технологической доступностью изготовления. К данному материалу предъявлялись следующие требования: прозрачность в оптическом диапазоне не хуже 75%, высокие значения диэлектрической и магнитной проницаемости наполнителя, возможностью контролируемой формовки материала матрицы.

Наиболее оптимальным материалом матрицы оказались полимеры. Они предполагают возможность термического и химического формирования, прозрачность на уровне 75-78% и хорошие механические характеристики[2]. В качестве полимерного материала рассмотрены полистирол, полиметилметакрилат, САН-пластики и целлулоидные материалы. На основе анализа свойств полимеров, выбран полиметилметакрилат, обеспечивающий наилучшую простоту формирования и достаточную экологичность. Помимо этого материал является оптически прозрачным, абсолютно бесцветным, свето- и атмосферостойким, имеет хорошие электроизоляционные, оптические и механические свойства.

При выборе наполнителя основными параметрами являлись хорошая проводимость, магнитная и диэлектрическая проницаемость. Сочетание данных свойств обеспечивает экранирующие свойства материалов как в плане поглощения так и отражения электромагнитных волн. При этом наполнитель не должен значительно снижать оптическую прозрачность композита. На основе этих требований были выбраны никелевые волокна, т.к. материал имеет хорошую проводимость и хорошие магнитные свойства, волокна легки в получении и обработке, а также устойчивы к внешнему воздействию.

Технология получения покрытия

Получения экрана включало несколько этапов. А именно синтез никелевых волокон и их измельчение, подготовка полимера, нанесение полимера на подложку и формирование слоя волокон на полимере. Рассмотрим каждый этап подробнее.

Синтез нановолокон

В ходе проработки методов получения никелевых волокон, проведен анализ литературы по соответствующей тематике. В результате выбран метод, описанный в статье [3]. Никелевые волокнистые структуры синтезировались по методике восстановления солей никеля гидразингидратом при температуре 90º с использованием поверхностно активных веществ. Целевая реакция:

$$2Ni + N_2H_4 + 4\ OH \text{ ----> } 2Ni + N_2 + 4H_2O$$

Для проведения синтеза были использованы $NiCl_2 \cdot 6\ H_2O$, $N_2H_4 \cdot H_2O$, бромид гексадецилтриметил аммония (ЦТАБ) и полиэтиленгликоль (ПЭГ) со средней молярной массой 10000 г/моль; степень частоты реагентов составляла более 98%; реактивы использовались без дальнейшей очистки. Реакция проводилась в водной среде. На рисунке 1 показаны волокна, полученные по данной технологии:



Рисунок 1. Никелевые волокна, полученные методом синтеза.

По рисунку 1 видно, что волокна являются многослойными, с суммарной толщиной более 5 мм. Вследствие этого они являются непрозрачным и необходима дальнейшая подготовка волокон.

Дробление волокон

Для создания достаточно тонкого слоя волокон предполагалось произвести их измельчение и дальнейшее нанесение на полимер. При этом, толщина слоя должна обеспечивать достаточную прозрачность.

Измельчение волокон проводилось при помощи ультразвукового диспергатора УЗДН-2Т**.** 10 мг волокон помещались в 20 мл водного раствора и деспергировались 30 минут с частотой 22 кГц. После этого волокна извлекались из раствора и выкладывались на подложку с последующей сушкой в лабораторном сушильном шкафу ШС-80-01 СПУ. Характеристики волокон изучались с помощью оптического микроскопа. Длина волокон варьировалась от 3 мкм до 65 мкм, а средний диаметр составил 1-2 мкм. Волокна после дробления представлены на рисунке 2.

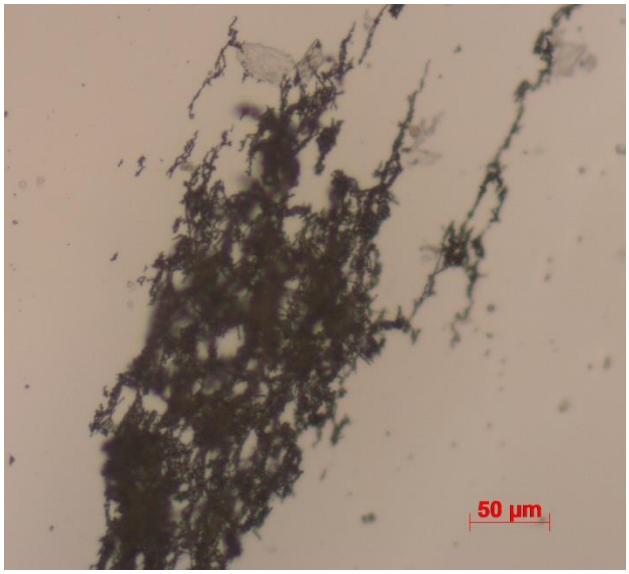


Рисунок 2. Никелевые волокна после дробления.

Подготовка материала матрицы.

Для проведения экспериментальной части одной из основных задач являлось размягчение полиметилметакрилата (ПММА) марки Дакрил-2М. Целью данного этапа являлось получение раствора ПММА с заданной вязкостью. Определенная величина вязкости необходима для обеспечения равномерного распределения волокон в полимере. Слишком низкая вязкость обеспечит хорошее распределение, но при этом будет происходить быстрая агломерация частиц в процессе нанесения. Высокая вязкость не позволит равномерно распределить частицы.

На практике было реализовано 2 метода: химический и термический способ размягчения ПММА.

1). Химический метод

ПММА неустойчив к действию спиртов, ***ацетона*** и бензола. Размягчение проводилось при помощи ацетона, так как он является доступным растворителем, при небольших концентрациях относиться к малоопасным веществам. Достоинством данного метода является возможность обеспечения заданной вязкости. Для достижения необходимой вязкости рассмотрены следующие соотношения ацетона к ПММА:

1:1/2; 1:1; 1:2

Наилучшим соотношением оказалось соотношение 1:1. После истечения примерно 12 часов ПММА приобретал необходимую вязкость.

2). Термический метод

Температурой размягчения полиметилметакрилата марки Дакрил-2М является 110℃, температурой плавления 235-240℃, а температура кипения свыше 250℃. В ходе эксперимента было выяснено, что при данной температуре плавления ПММА переходит в расплав, но показатель текучести расплава недостаточен для придания необходимой вязкости. Показатель текучести расплава Дакрил-2М: 0,5-1,6 г/10 мин.

В результате способом размягчения полиметилметакрилата был выбран химический способ размягчения.

Нанесение покрытия.

Сначала нанесли полученную полимерную матрицу на предметное стекло методом погружения в раствор. Результат представлен на рисунке 3.

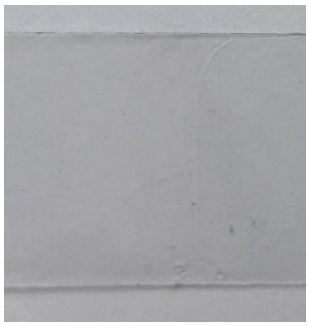


Рисунок 3. Предметное стекло с нанесенной на него матрицей.

Далее, на стекло с жидким полимером предполагалось нанесение измельчённых волокон. Для их нанесения рассмотрено 2 способа: метод слепка и метод спин-напыления.

1.) Метод слепков

Сущность метода слепков заключается в формировании слоя волокон на ленту с высокими адгезионными свойствами, путём механического контакта ленты и волокон. В результате часть волокон «прилипает» к ленте, формирую тонкий слой. К материалам для изготовления слепков предъявляются основные требования: точное копирование поверхности образца, материал не должен пластически деформироваться в момент снятия и в процессе хранения слепка, материал слепка не должен схватываться с поверхностью детали.

Далее на подложку с жидким полимером наносится лента с волокнами. После отвердевания полимера, лента удаляется, оставляя слой волокон в полимере.

2.) Метод спин-напыления

Стеклянная подложка с жидкой полимерной матрицей и волокна помещаются в настольную центрифугу модели *Hettich EBA-20, и производится смешивание с оборотами до 2000 оборотов/мин в течение 10-15 минут. В результате волокна равномерно распределяются по слою полимера. Далее подложка удаляется и происходит отвердевание полимера.*

Выводы

В работе предложена методика создания оптически прозрачных полимерных экранирующих покрытий с наполнителем в виде никелевых волокон. В рамках проработки методики рассмотрены перспективные экранирующие материалы, предложены подходы к формированию композитного материала для экрана и его нанесение на стеклянную основу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Сусляев В.И.* Влияние ионов Fe2+ на СВЧ спектры ферритов CoZnW / В.И. Сусляев, Е.П. Найден, В.А. Журавлев, Г.И. Рябцев // Электронная техника. Сер. «Материалы». 1990. №5/250/ДСП. С. 28 – 29.

2. *Михасенок О.Я.*. Полимерные материалы на основе сополимеров стирола // Полимерные материалы. – 2004. – №11 ноябрь. – С. 20-25.

3. *Морозов М.В.* Исследование фактора шероховатости поверхности никелевых волокон, синтезированных под влиянием магнитного поля. / Морозов М.В., Баталин Г.А., Гареев Б.И., Гильмутдинов А.Х., Тагиров М.С. Салахов М.Х. // Нанотехника. - 2012. – 2(30). - С. 48-55.

RESEARCH THE PRODUCING TECHNOLOGY OF THE TRANSPARENT EM SHIELDING COATINGS BASED ON NICKEL FIBERS

Yudaeva V.

yudaeva4111@gmail.com

Supervisor: S. Spiridonov, Senior Lecturer

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

The paper presents the study of producing technology of transparent coating based on a polymer composite with nickel nonfibers and with selectively EM shielding in industrial radiofrequency band.

ПОДСЕКЦИЯ 2.5

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 658.5.011

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Абросимов Ю.Г.
xumka88@gmail.com
Научный руководитель: В.М. Бабушкин, к.э.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В статье представлены результаты проектирования функциональной архитектуры единой информационной среды предприятия и интеграционном решении для обеспечения взаимодействия прикладных подсистем предприятия, связанных с проектированием, производством, сопровождением и эксплуатацией авиационной техники.

Сегодня, в условиях широкого применения в производстве сквозных цифровых технологий, интеграция информационных систем, существующих на предприятии, приобретает большое значение. Процессы интеграции информационных систем, так или иначе, направлены на создание единой информационной среды (ЕИС) предприятия как средства, увязывающего все проекты и ресурсы по направлениям, срокам и исполнителям в единое целое [1].

Для предприятия авиационной отрасли проект «Создание единой информационной среды» является комплексным проектом, обеспечивающим процессы, связанные с проектированием, производством, сопровождением и эксплуатацией авиационной техники.

В рамках такого проекта создается единое инженерное информационное пространство, включающее в себя распределенное виртуальное конструкторское бюро (КБ) и цифровое производство.

В ходе проекта на предприятии авиастроения должен быть реализован рад подпроектов, включая:

1. цифровое проектирование каркаса и систем самолета;
2. технологическая подготовка производства на основе электронной конструкторской документации;
3. планирование, управление и диспетчеризация производства;
4. стендово-экспериментальная работа;
5. автоматизация процессов послепродажного обслуживания.

При проектировании функциональной архитектуры ЕИС в настоящем исследовании за основу приняты стадии и этапы жизненного цикла изделий (ЖЦИ), т.е. первоначальной задачей явилось определение набора подсистем, необходимых для обеспечения автоматизации процессов на всех этапах ЖЦИ [2]. Основные стадии жизненного цикла изделия на авиационном предприятии определены соответствующей нормативной базой, формирующей порядок создания авиационной техники и включают в себя следующие этапы:

1. Проведение научных исследований в обеспечение создания образца авиационной техники:
- научно-исследовательские работы (НИР);
- аванпроект (АП).

2. Опытно-конструкторские работы (ОКР):
- эскизный проект (ЭП);
- технический проект (ТП);
- разработка рабочей конструкторской документации (РКД);
- изготовление опытных образцов (ИОО);
- проведение наземных и летных испытаний опытных образцов;
- корректировка и утверждение РКД для запуска изделия в серийное производство.

3. Серийное производство (СП):
- организация и модернизация производства;

- освоение новых технологий;
- технологическая подготовка производства (ТПП)

4. Эксплуатация и ремонт (ЭР).

Основные задачи, решаемые на исследуемом предприятии при реализации проекта ЕИС включают следующие:

– получение полного цикла цифрового проектирования изделий;

– уменьшение количества специалистов из числа инженерного состава с 4000 человек до 1000 при проектировании нового изделия;

– построение гибкой, отказоустойчивой программно-аппаратной инфраструктуры на предприятии высокого класса надежности;

– полная автоматизация процессов технологической подготовки, планирования и управления производством.;

– создание порядка 2000 автоматизированных рабочих мест с современными лицензионными программными комплексами инженерного программного обеспечения;

– создание и модернизация закрытых и открытых каналов связи для обмена данными между участниками проекта, включая модернизацию IT оборудования центров обработки данных и системы информационной безопасности [3].

На первом исследования объединить в ЕИС предприятия планировалось 12 прикладных подсистем с учетом инфраструктурных подсистем, но уже в рамках эскизного проектирования была выявлена необходимость добавить еще 3 прикладных подсистемы: управление требованиями, подсистему проектирования и комплексирования систем изделия с учетом их физических особенностей работы, взаимовлияния, внешних условий (МФС) и подсистему планирования, управления и мониторинга производства и материально-технического снабжения (СПМ) (рис.1).

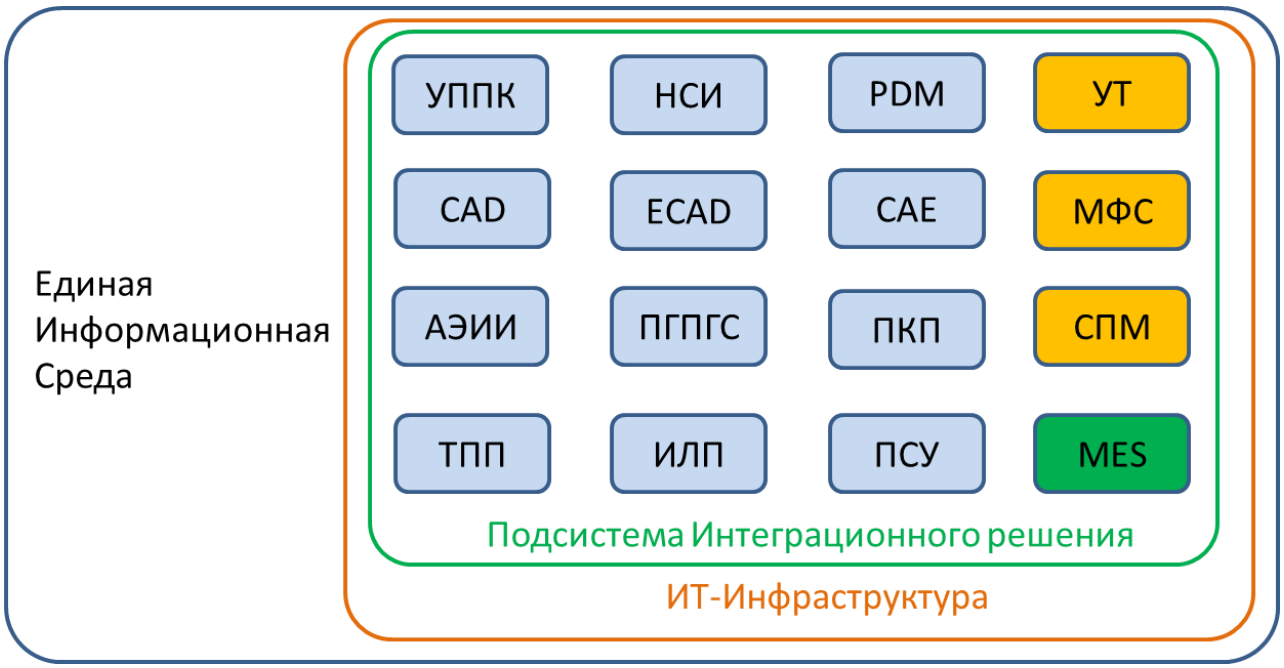


Рис. 1. Структура ЕИС

В рамках этапа технического проектирования выявлена необходимость включения еще 2 прикладных подсистем: подсистемы внутрицехового управления производством (MES) и подсистемы интеграционного решения.

С учетом выявленного набора подсистем и их связи друг с другом по обозначенным этапам ЖЦИ разработана функциональная архитектура ЕИС предприятия (рис.2).

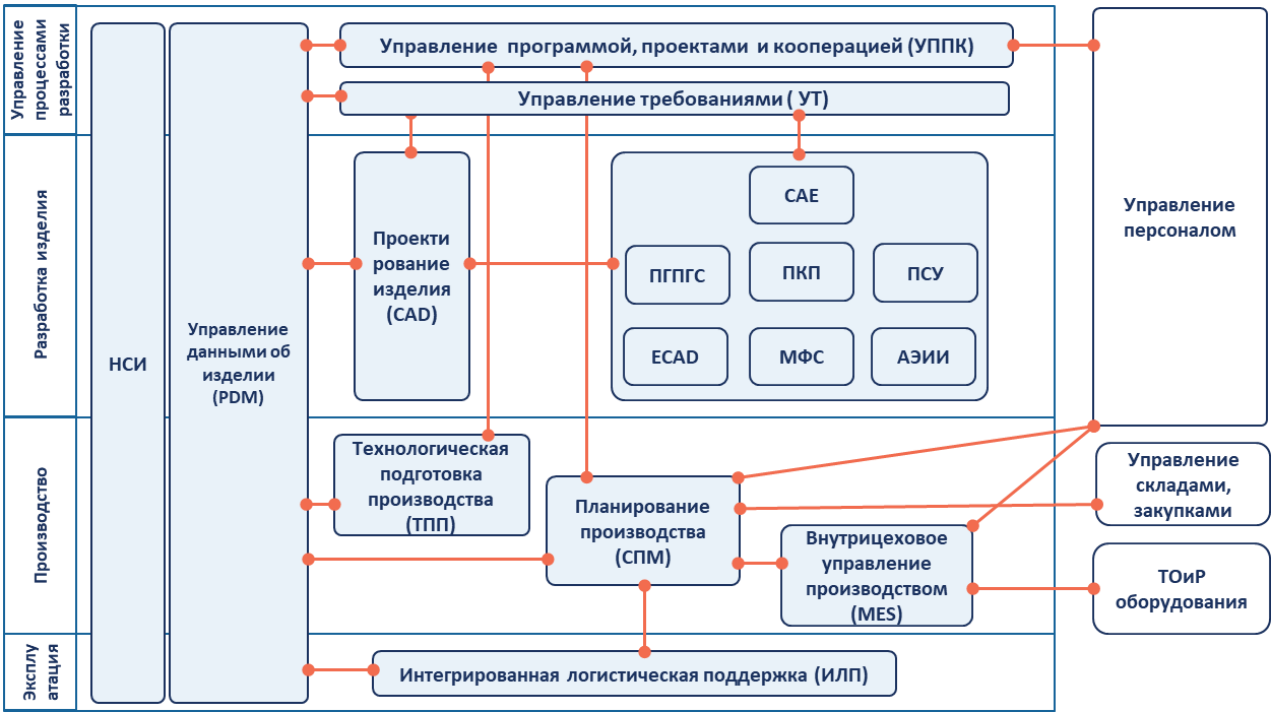


Рис. 2. Схема взаимодействия подсистем ЕИС

Представленная на рис.2 функциональная архитектура выполнена в привязке к основным этапам ЖЦИ. Линиями соединены подсистемы, между которыми должен обеспечиваться обмен данными. На рис. 2 представлены два контура: ЕИС и внешние системы, с которыми также необходимо обмениваться данными. В рамках данного проекта обмен данными реализуется только для контура ЕИС, но уже сейчас в документах технического проекта на предприятии есть возможность взаимодействия с внешними системами. [4].

Исходя из достаточно большого количества подсистем и соответственно большого количества информационных потоков, возникающих при обмене данными, был сделан вывод, что для обеспечения взаимодействия необходимо унифицировать механизмы обмена данными. Таким образом, в проекте появилась подсистема интеграционного взаимодействия. Понятно, что для многих систем, например Teamcenter, есть так называемые стандартные интеграционные модули с другими системами, но в текущем проекте необходимо встроить обмен данными в процесс разработки изделия на разных этапах ЖЦИ, определить унифицированный формат обмена данными, регламент передачи и т.д.

Для обеспечения этого проектируется подсистема интеграционного решения ИР, речь о которой пойдет в дальнейших исследованиях [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Габитов Э.И., Шарипов А.Р.* Роль четвертой промышленной революции в России и в мире. В сборнике: XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых). Международная молодёжная научная конференция: Материалы конференции. Сборник докладов: в 4 томах. 2017. С. 704-709.

2. *Бабушкин В.М., Габитов Э.И., Бариева Д.Р., Мазитова К.Д* Факторы и ограничения цифрового производства современных наукоемких предприятий. В сборнике: Лучшая студенческая статья 2019. сборник статей XXI Международного научно-исследовательского конкурса. Пенза, 2019. С. 76-81.

3. *Бабушкин В.М., Абрамов В.А.* Оценка рисков инвестиционного проекта // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли - АКТО-2016. Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2-х томах. 2016.

4. *Мингалеев Г.Ф., Багаутдинов Ф.Н., Бабушкин В.М., Шарафеев И.Ш., Трутнева А.А.* Анализ производственных и бизнес-процессов в концептуальной платформе организации и мониторинга оплаты труда на промышленном предприятии // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева №3 (74) - 2018 С: 58-65.

5. *Бабушкин В.М.* Функциональная архитектура единой информационной среды промышленного предприятия // Инновационное развитие экономики № 4 (46) – 2018 С. 27 – 35.

FUNCTIONAL ARCHITECTURE OF THE UNIFIED INFORMATION ENVIRONMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISE

Abrosimov Yu.

xumka88@gmail.com

Supervisor: M. Babushkin, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

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

The article presents the results of the design of the functional architecture of the unified information environment of the enterprise and the integration solution to ensure the interaction of the enterprise application subsystems related to the design, production, maintenance and operation of aircraft.

УДК 330.34

РОЛЬ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ В МОДЕРНИЗАЦИИ И РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ РОССИЙСКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Бадриев А.Д., Шакиров И.А.

zzdl4@bk.ru, iskandershakirov@mail.ru

Научный руководитель: М.Ф. Сафаргалиев, к.э.н., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Актуальность и цели. Одна из наиболее обсуждаемых тем в области промышленного развития и сферы современных технологий – это роль интегрированных информационных систем и технологий в модернизации российских производственных предприятий. Результаты. В данной статье представлена информация о роли информационных технологий в усовершенствовании производственных предприятий России, рассмотрены цели и задачи, а также принцип ее работы. Рассмотрен ряд проблем возникающих при внедрении интегрированных информационных систем и технологий в модернизации и реструктуризации российских производственных предприятий. Выводы. Интегрированные информационные системы позволяют в значительной мере заняться ресурсосбережением и мобилизовать внутренний интеллектуальный и промышленный потенциал. Сформулирована важность освоения современных информационных методов и прописаны основные проблемы при внедрении интегрированных информационных систем.

Базовое условие успешной модернизации и реструктуризации производственных предприятий России – интенсивное изучение современных информационных технологий, охватывающих, прежде всего интеллектуальные процессы инжиниринга и организации управления производственной и коммерческой деятельностью предприятий. Проблемы внедрения интегрированных информационных систем смыкаются с задачами образования холдингов, отраслевых и территориальных кластеров, переоснащения производства и выстраивания новых автоматизированных технологических процессов, производство изделий с более высокими потребительскими свойствами [2]. Именно интегрированные информационные системы позволяют в значительной мере заняться ресурсосбережением и мобилизовать внутренний интеллектуальный и промышленный потенциал.

Рассмотрим роль интегрированных информационных систем и технологий в модернизации и реструктуризации российских производственных предприятий.

Реформирование организаций требует решения множества прикладных задач автоматизации определенных интеллектуальных процессов проектирования новых конкурентоспособных изделий и организация управления деятельностью предприятий. Также необходимо добиться задействование фундаментальной науки для разработки методологии перехода к новым формам организации производства, подготовки кадров, документооборота, связей с партнерами и потребителями с учетом мировых практик освоения интегрированных информационных систем, а также традиций и условий, существующих в России.

Необходимо выстроить принципиально новое выстраивание производства, при котором происходят сквозные бизнес-процессы: от автоматизированных рабочих мест конструктора изделия, конструктора технологической оснастки, технолога по разработке программ ЧПУ до современных 5–6-координатных обрабатывающих центров, обеспечивающих воспроизведение в металле изделий сложных форм. При этом создаваемые товары и все операции по их изготовлению и эксплуатации проходят всесторонний инженерный анализ в среде современных систем имитационного моделирования (CAE-системы) до начала производства, что обеспечивает значительное снижение издержек и повышение качества продукции.

Современное промышленное предприятие требует новой организации управления на базе системы автоматизированных бизнес-процессов, функционирующих в среде интегрированной информационной системы. Это означает переход от статичного менеджмента к динамическому, объединяющему различные подразделения с ориентацией на выполнение конкретных заказов, обслуживание клиентов, решение перспективных задач производства [1].

Главными целями выделения бизнес-процессов для реализации отдельных видов работ являются:

1) улучшение качества проектирования и, соответственно, выпускаемых изделий;

2) повышение прозрачности хода проектных операций, облегчение контроля результатов и ресурсов для воплощения в жизнь поставленной задачи;

3) увеличение ответственности как рядовых сотрудников, так и руководителей среднего уровня за своевременное и добросовестное ведение работ.

Важность освоения современных информационных методов и средств проектирования и изготовления инновационной продукции ставит перед отечественной промышленностью ряд сложных проблем. Их острота усугубляется противоречием между необходимостью экспорта товаров, наличием конкуренции на мировом рынке и несовершенством структуры и формы организации работ в сфере технической подготовки производства новой продукции, устаревшими технологиями проектирования изделий, неэффективным сбытом и маркетингом.

Разработка и внедрение интегрированных информационных систем и технологий для поддержки жизненного цикла изделий и управления ресурсами компании должны быть направлены в первую очередь на улучшение показателей деятельности предприятия и достижение определенных бизнес-целей, к которым относятся:

1) привлечение инвестиций;

2) диверсификация портфеля товаров и услуг, расширение номенклатуры выпускаемой продукции;

3) увеличение доли фирмы на рынке;

4) диверсификация портфеля товаров и услуг, расширение номенклатуры выпускаемой продукции;

5) развитие предприятия в основном за счет роста эффективности производства.

Основные проблемы, возникающие при внедрении интегрированных информационных систем и технологий:

1) Отсутствие проектного подхода.

Большинство руководителей предприятий рассматривают освоение интегрированных информационных систем и технологий как операцию по закупке техники и программного обеспечения, поручая эти процедуры отделу автоматизированных систем управления. Однако в большинстве случаев данные подразделения к ним не готовы. Основная доля затрат (до 70%) при внедрении интегрированных информационных систем и технологий приходится не на приобретение лицензий на ПО, а на стоимость работ по их освоению. При этом неважно, осуществляются ли они силами ИТ-службы заказчика или приглашенным системным интегратором. Это означает, что к внедренческой команде должны предъявляться самые высокие требования.

2) Отсутствие централизованного и комплексного подхода к вопросам информатизации предприятия.

На большинстве производств нет жесткого централизованного менеджмента по решению задач в области информатизации, что приводит к дезинтеграции работ по внедрению интегрированных информационных систем и технологий, многочисленным конфликтам между подразделениями, отсутствию персональной ответственности и скоординированных усилий по преодолению возникающих трудностей. Это тормозит принятие управленческих решений, увеличивает период рассмотрения и внедрения программных систем и технологий.

3) «Лоскутная» автоматизация.

Наиболее развитые в экономическом отношении предприятия в настоящий момент располагают различным количеством лицензионного программного обеспечения (ПО) разного уровня и совместимости между собой, что приводит к «лоскутной» автоматизации субъектов хозяйствования и неэффективному использованию ПО. Развитие автоматизированных систем на большинстве производств по этапам жизненного цикла продукции проводилось неравномерно, а для создания интегрированной информационной среды компании требуется в первую очередь ликвидировать разрывы в информационных цепочках по всему жизненному циклу изделий.

4) Моральное старение автоматизированных систем управления предприятием.

Для всех без исключения российских крупных производств актуальна проблема разработки стратегии перехода на инновационные средства управлении своей деятельностью и ресурсами с обеспечением преемственности действующих систем и сохранением накопленных баз данных.

5) Недооценка психологических аспектов перехода на новые методы работы на основе ИТ.

Переход предприятия на безбумажную технологию в силу принципиального изменения организации работ на основе автоматизированных бизнес-процессов объективно предполагает определенную реорганизацию. Последняя не понимается в смысле «реинжиниринг» в его классическом западном варианте с полной перестройкой всей внутрихозяйственной и коммерческой деятельности. Она может быть проведена в ряде локальных точек, там, где объективно необходима, что не повлияет на текущую коммерческую деятельность фирмы [3].

6) Отсутствие отечественной нормативно-правовой базы для освоения интегрированных информационных систем и технологий.

Чаще всего информатизация отдельных сфер деятельности предприятия опирается на правила работы ИТ-фирмы, занимающейся внедрением. Эти правила отражают в первую очередь интересы этой компании, а не интересы заказчика, который после завершения проекта и сдачи программных комплексов в эксплуатацию оказывается перед проблемами освоения новых технологий, не имея для их решения ни регламентов, ни специалистов. Такое положение приводит к тому, что информатизация нередко не дает ожидаемого эффекта. Отсутствие отлаженной системы стандартов управления качеством часто влечет за собой низкую результативность ИТ-проекта.

Таким образом, мы можем сделать вывод, что основная роль интегрированных информационных систем и технологий стать механизмом преобразования бизнеса для поддержания конкурентоспособности предприятия на микро- и макроуровнях.

Также следует отметить, что приступая к информатизации производства, ИТ не стоят на месте. В настоящее время основное направление их совершенствования – в создании методов и средств для функционирования так называемого цифрового предприятия. Новые технологии должны стать базисом для очередной, четвертой по счету промышленной революции – революции данных для создания новой цифровой индустрии, которую называют Industry 4.0. Несмотря на очевидный маркетинговый смысл новых терминов и лозунгов, актуализация всего, что связано с новыми методами и технологиями обработки информации, является естественным эволюционным этапом совершенствования вычислительной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Внедрение на промышленных предприятиях информационных технологий поддержки жизненного цикла продукции: метод. рекомендации / Л.В. Губич [и др.]; науч. ред. А.В. Тузиков.– Мн., 2016

2. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделий машиностроения. Проблемы и решения / Л.В. Губич [и др.].– Мн., 2017.

3. Интернет-журнал «Корпоративные системы». 2007, №1. Электронный ресурс: http://www. enterprise.com.ua.

PAPER TITLE

Badriev A., Shakirov I.

zzdl4@bk.ru, iskandershakirov@mail.ru

Supervisor: M. Safargaliev, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

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

Relevance and goals. One of the most discussed topics in the field of industrial development and modern technology is the role of integrated information systems and technologies in the modernization of Russian manufacturing enterprises. Results. This article provides information on the role of information technologies in the improvement of industrial enterprises in Russia, discusses goals and objectives, as well as the principle of its work. A number of problems arising from the implementation of integrated information systems and technologies in the modernization and restructuring of Russian manufacturing enterprises are considered. Findings. Integrated information systems make it possible to significantly engage in resource saving and mobilize internal intellectual and industrial potential. The importance of mastering modern information methods and recommendations related to the main problems in the implementation of integrated information systems are formulated.

УДК 658

МЕХАНИЗМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ В ЦИФРОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Бариева Д.Р., Трутнева А.А.

Barievadiana1997@mail.ru, Pankovaanya@mail.ru

Научный руководитель: Ю.М. Трегубов, к.э.н., доцент.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

С каждым днём большое количество промышленных предприятий выпускают огромное количество различной конкурентоспособной продукции. Для того чтобы выйти из этой конкурентной борьбы победителем, нужно правильно и грамотно спланировать свой товар. В данной статье рассматриваются механизмы планирования ассортимента продукции в условиях цифрового производства.

Изучив различные понятия цифрового производства, можно сформулировать следующее понятие. Цифровое производство — это система подготовки производства в единой информационной среде при помощи инструментов планирования, проверки и моделирования производственных процессов. Цифровое производство является одной из составляющих технологии управления жизненным циклом изделия [1]. Основная цель данного производства — оптимизация сложных производственных технологических процессов. К этим процессам относятся инструменты, позволяющие передавать данные из проектных и производственных систем, планировать, моделировать и разрабатывать производственные процессы, а так же оценивать качество различных технологических процессов.

Планирование ассортимента является непрерывным процессом, продолжающимся в течение всего жизненного цикла продукции, который начинается с зарождения замысла о создании нового вида продукции и заканчивается снятием с производства. Другими словами предприятие не может долгое время выпускать на рынок одну и ту же продукции без улучшения и при этом оставаться конкурентоспособным. Регулярное обновление выпускаемой продукции – обязательное условие, для выживания предприятия в современных условиях.

Процесс планирования ассортимента продукции определяется как планирование всех видов деятельности, направленных на отбор изделий для будущего производства и на приведение технических, функциональных и эстетических свойств этих изделий в наиболее полное соответствие с требованиями потенциальных потребителей. Суть планирования ассортимента продукции состоит в умении воплощать уже имеющиеся технические и материальные возможности в продуктах, которые обладают потребительской ценностью, приносят прибыль предприятию, а также удовлетворяют запросам покупателей.

Проблема затрагиваемой темы рассматривается в научных трудах: Р.Л. Аккофа, А. Файоля, Ф.Ф. Аунапу, Н.В. Афанасьевой, Г.Дж. Болта, В.М. Власовой, Г. Гантта, Г.А. Егиазаряна, Э.И. Крылова, Ж.Ж. Ламбена, А.М. Немчина, О.И. Непорента, Э.А. Сателя, Ф.У. Тейлора, Л.В. Канторовича, А.Д. Шеремета, Г. Эмерсона, И. Ансоффа, Л. Якокка, С. Янга, В. Ф. Янченко и других.

Изучив различные определения термина «производственный ассортимент продукции» можно выделить следующие понятия:

1. Ассортимент продукции – это товар, который благодаря своим характеристикам удовлетворяет потребность заказчиков.
2. Производственный ассортимент – товар, который выпускается промышленным предприятием, а так же является основой формирования ассортимента.

Формированию ассортимента предшествует разработка предприятием ассортиментной концепции. Концепция представляет собой направленное построение оптимальной ассортиментной структуры, товарного предложения, при этом за основу принимаются, как потребительские требования сегментов рынка, так и необходимость обеспечить наиболее эффективное использование предприятием финансовых, технологических, сырьевых, а так же других ресурсов таким образом, чтобы производить изделия с минимальными издержками [4].

Любое предприятие, которое решилось на запуск новой продукции, может выбрать подходящий для себя вариант:

1. Запросить информацию о новых видах продукции у внешних источников.
2. Изобрести самостоятельно новый вид продукции, используя информацию и аналитические материалы из необходимых служб предприятия.
3. Улучшить внешнее оформление ранее выпускаемой продукции на производстве.

Выбрав один из предложенных вариантов, в дальнейшем для планирования ассортимента продукции, будут применены следующие механизмы.

Существуют различные алгоритмы, которые помогают спланировать ассортимент продукции на производстве. Самый распространённый алгоритм представлен на рисунке 1.

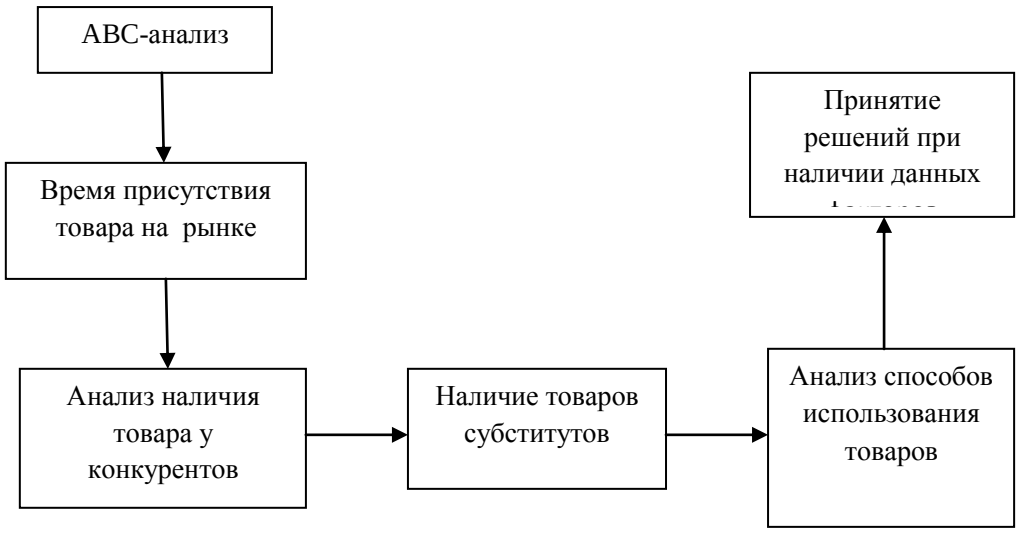


Рис.1. Алгоритм формирования товарного ассортимента на предприятии

Данный алгоритм при помощи следующих блоков помогает производству правильно расставить приоритеты, спланировать свой товар и будет применим к 2 и 3 варианту.

Следующим механизмом планирования, который хотелось бы рассмотреть являются методы планирования ассортимента продукции на производстве, которые могут быть применены ко всем вышеуказанным вариантам.

1. Метод операционного рычага.

Данный метод заключается в анализе «Издержки-Объем-Прибыль», который так же носит название CPV-анализ. Главное в этом анализе это деление затрат на постоянные и переменные.

2. Метод ранжирования ассортимента продукции на основе матрицы Бостонской консультативной группы (БКГ).

Метод ранжирования подразумевает анализ матричного портфеля предприятия. После данного анализа составляется таблица, в которой сопоставляются стратегические позиции каждого из структурных подразделений.

3. Метод линейного программирования.

В данном методе при планировании ассортимента продукции нужно стараться оптимально принимать решения, то есть достигать при заданных условиях максимальных результатов либо стараться минимизировать издержки производства.

Подводя итоги, хотелось бы добавить, что не следует думать, что планирование ассортимента продукции относится только к новым видам изделия. Внедрение новых товаров, непременно, будет иметь первостепенное значение для дальнейшего развития и рентабельности предприятия.

Тем не менее, необходимо проводить комплексный анализ уже существующего товарного ассортимента и таким образом планировать дальнейший выпуск продукции с улучшенными для неё характеристиками. Так как в большинстве случаев финансирование для освоения новых видов изделий происходит за счёт отчисления выручки от реализации текущей продукции, которую выпускает предприятие и планирует успешно продавать в течение долгого времени [5]. Предложенные механизмы помогут предприятию справиться с проблемой планирования ассортимента продукции в цифровом производстве и оставаться конкурентоспособным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. [Электронный ресурс] https://www.intechnology.ru/iiot/
2. [Электронный ресурс] http://integral-russia.ru/2017/12/25/tsifrovoe-proizvodstvo-monitoring-iskusstvennyj-intellekt-s-chego-nachat/
3. [Электронный ресурс] https://studfiles.net/preview/397818/page:10/

4. *Трегубов Ю.М.* Рекомендации по стимулированию продаж продукции промышленного предприятия // Концепции фундаментальных и прикладных научных исследований сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции: в 6 частях. 2017. С. 135-139.

5. *Трутнев В.В., Алешина Н.И., Кашапова А.Ф., Гатауллина А.И., Галимова А.И.* Управление экономикой качества // Вопросы науки и образования. 2017 №5 (6) С. 61-63.

PLANNING MECHANISMS OF PRODUCT RANGE IN DIGITAL PRODUCTION

Barieva D., Trutneva A.

Barievadiana1997@mail.ru, Pankovaanya@mail.ru

Supervisor: Y. Tregubov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

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

Every day a large number of industrial enterprises produce a huge amount of various competitive products. In order to get out of this competitive struggle winner, you need to correctly and correctly plan your product. This article discusses the mechanisms for planning the assortment of products in digital production.

УДК 65.012.21

ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ МЕХАНИЗМА ВВОДА РЕМОНТНОГО СОСТАВА В СИСТЕМЕ TEAMCENTER

Бердник А.В.

andrey_trialzooi@mail.ru

Научный руководитель: В.М. Бабушкин, к.э.н., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Описан один из возможных вариант доработки модели данных PDM-системы Teamcenter версии 10.1 с целью реализации возможности ввода ремонтного состава и обеспечения связи новых изделий с ремонтными, что в свою очередь, при подготовке производства и планировании позволяет определить, какое изделие (узел, сборочную единицу) необходимо изготовить в случае отбраковки ремонтного.

Teamcenter – это современный пакет масштабируемых программных решений для поддержки жизненного цикла изделий от компании Siemens [1]. Однако, существующий пакет решений версии 10.1 не включает возможности ввода ремонтного состава [2].

После тщательной проработки конструкторской документации на одно изделие сформированы следующие основные требования к функционалу:

1. Каждый объект (деталь и сб. единица) имеющий в системе ремонтный аналог (содержит в обозначении букву «Р») должен содержать в себе ссылку на ремонтный объект с помощью связей ревизий объектов «Ремонтируемый объект» и «Ремонтный объект» [3].

2. Каждый ремонтный объект в системе типа «Сборочная единица» должен содержать в составе новый объект (соответствующий ремонтному аналогу) без позиции, с отметкой атрибута строки состава «Ремонтируемое изделие».

3. У ремонтных деталей по связи «Ремонтируемый объект» отображается новый объект (деталь, сб. единица). У новых деталей по связи «Ремонтный объект» отображается ремонтный объект (деталь, сб. единица).

4. Необходим ввод дополнительных атрибутов строки состава в приложении «Менеджер структуры», которые применяются для более детального описания ремонтного состава. Например, «По тех. Состоянию», «Использовать из сборочной единицы…», «Отремонтировано по…» [4].

За обеспечение связи ремонтных и новых объектов в изложенном варианте отвечает вкладка «Ремонт», а сама связь осуществляется путём копирования ревизии нового объекта

(деталь/сб. единица) и прикрепления к ревизии соответствующего ремонтного объекта по связи «Ремонтируемый объект» (рис.1).

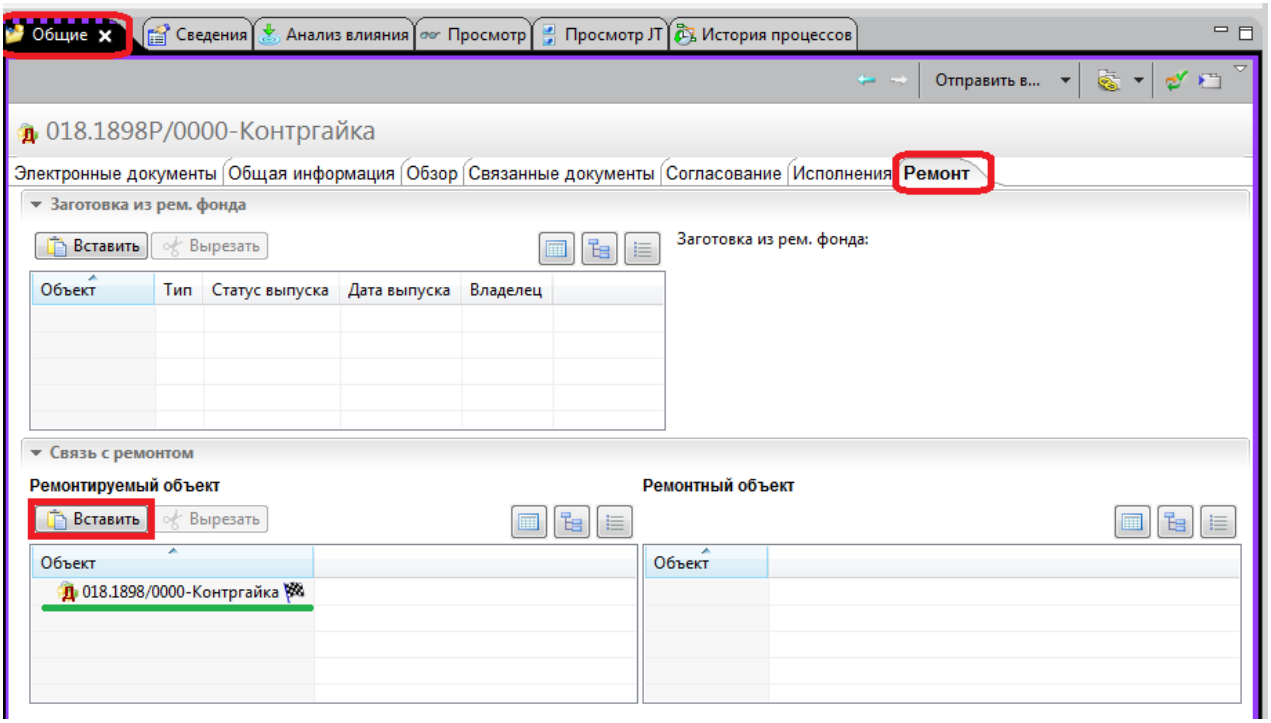


Рис.1. Пример реализации связи ремонтных и новых объектов

Для связи объектов типа «Сборочная единица» дополнительно необходимо в приложении «Менеджер структуры» вставить новое изделие в состав ремонтного, убрать его позицию в составе и отметить атрибут строки состава «Ремонтируемое изделие» (рис. 2).

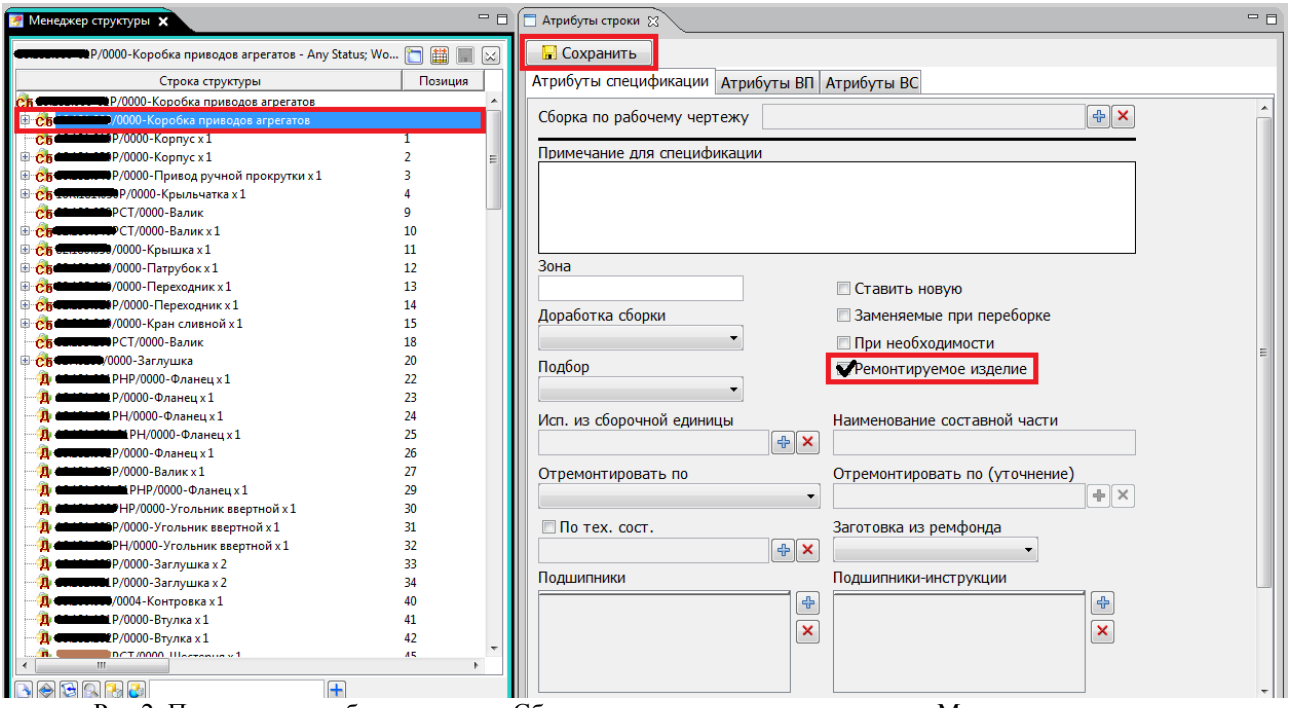


Рис.2. Пример связи объектов типа «Сборочная единица» в приложении «Менеджер структуры»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. [Электронный ресурс]. URL:https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/teamcenter/

2. *Бабушкин В.М., Мингалеев Г.Ф., Абросимов Ю.Г.* НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2018. Т. 74. № 1. С. 92-97.

3. ГОСТ 2.106-96 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Текстовые документы.

4. ГОСТ 2.602-95 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Ремонтные документы.

OPTIONS FOR IMPLEMENTATION OF THE INPUT MECHANISM REPAIR COMPOSITION IN THE SYSTEM TEAMCENTER

Berdnik A.

andrey_trialzooi@mail.ru

Scientific adviser: V. Babushkin, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

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

One of the possible options for modifying the Teamcenter PDM-system version 10.1 data model is described in order to realize the possibility of introducing a repair composition and connecting new products with repair ones, which in turn, when preparing for production and planning, determines which product it is necessary to make in case of rejection repair.

УДК 658.5.011

ФАКТОРЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕХОДА ПРЕДПРИЯТИЙ К ЦИФРОВОМУ ПРОИЗВОДСТВУ

Габитов Э.И.

gabitov.emil@mail.ru

Научный руководитель: В.М. Бабушкин, к.э.н., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Цифровое производство – это важнейший драйвер современной экономики, включающий применение информационных технологий в планировании управлении производством синхронизованных с возрастающими запросами потребителей. Государства с высоким уровнем экономики и развитой индустрией оказывают большое влияние на уровень жизни населения.

Сегодня мировая промышленность претерпевает изменения: меняется бизнес-модель производства товаров и услуг, изменяется понимание их проектирования, появляются новые технологии производства (цифровые двойники), цифровые (облачные) платформы и экосистемы, которые обходят стороной конкурентные барьеры, такие как собственность устройства и лицензионное программное обеспечение и т.д. Таким образом трансформируется промышленной отрасль в целом. [1].

Однако сегодня производственные предприятия разных стран, в том числе и российские, сталкиваются с некоторыми внутренними и внешними ограничениями.

Вместе с тем в последние годы в России происходит замедление роста «цифровизации». Сокращение инвестиций бизнеса в развитие высоких технологий, вызванное снижением темпов роста всей экономики, является тревожной тенденцией. Мы видим, что даже такие базовые инструменты управления бизнес процессами, как CRM и ERP, внедряются не так быстро, как того требует логика растущей конкуренции, особенно в регионах России. Часто у компаний просто нет средств для высокотехнологичной оптимизации своей работы. Эта проблема усугубляется необходимостью импорта программного и аппаратного обеспечения на фоне снижения стоимости рубля.

Эти проблемы можно отнести к ограничениям цифрового производства. Выделяют ограничения внутренние и внешние (таблица 1) [2]:

Таблица 1

Ограничения при переходе к цифровому производству

Внутренние ограничения	Внешние ограничения
1. Устаревшая материально-техническая база	1. Кибербезопасность
2. Низкий уровень автоматизации	2. Зависимость от иностранного ПО
3. Длинные производственные циклы	3. Дороговизна ПО и т.д.
4. Медленная адаптация к изменениям	4. Сокращение инвестиций

В данной статье будут рассмотрены рекомендации и технологии, посвященные решению внутренним ограничениям (проблемам).

Одним из мировых трендов в промышленности является её цифровизация. Цифровое производство – это важнейший драйвер современной экономики, включающий применение информационных технологий в планировании управлении производством синхронизованных с возрастающими запросами потребителей.

По мнению зарубежных экспертов, комплексное применение цифровых технологий во всех сферах деятельности позволит перейти на новый уровень организации процессов компаний. Этот переход называют четвёртой промышленной революцией. (Industry 4.0). В России в ряде нормативных документов используется термин «цифровая трансформация» Другими словами, «Индустрия 4.0» – автоматизация, оптимизация производства, таким образом, чтобы предприятие модернизировалось и лучше функционировало. [3]

К основным технологиям цифрового производства относят следующие: [2].

Таблица 2

Технологии цифровой революции

Цифровое проектирование
Новые материалы и конструкции, включая сертификацию
Аддитивные и гибридные технологии
CNC технологии
Big Data (управление расчетными данными)
Промышленные роботы
MES и ISC- системы
Сенсорика
Индустриальный интернет
Big Data
Информационные системы управлением предприятием (ERP, CRM, SCM)

Стоит отметить, что прежде чем внедрять данные цифровые технологии необходимо выстроить производство и производственные процессы таим образом, чтобы все это было направлено на создание ценности потребителя с наилучшим качеством и в минимальные сроки. Тем самым устраняя внутренние ограничения. Одной из концепций организации производства является бережливое производство (БП).

Концепция БП позволяет: постоянно повышать удовлетворенность потребителей, акционеров и других заинтересованных сторон; постоянно повышать результативность и эффективность бизнес-процессов; упростить организационную структуру, улучшить процессы менеджмента; быстро и гибко реагировать на изменение внешней среды. [4]

На втором этапе, после внедрения концепции БП, (определения основных потерь и применения методов, инструментов БП) предлагается ряд мероприятий по поиску внутренних резервов роста производственного предприятия. Поиск резервов исходит из множества факторов, которые можно разделить на 4 группы: технико-технологические, организационные, экономические и социально-психологические (рис.1) [5]:



Рис.1 Внутренние факторы роста производственного предприятия

После проведения мероприятий по поиску внутренних резервов роста производственного предприятия на основе данных концепции бережливого производства, полученных на первом этапе, предлагается перейти к цифровизации производственного предприятия с ее технологиями и этапами.

Основываясь на современных исследованиях, в частности с концепцией индекса зрелости Индустрии 4.0 – Управление цифровым преобразованием компаний, то индустрия 4.0 начинается с цифровизации. Шесть этапов представлены на рис.2:

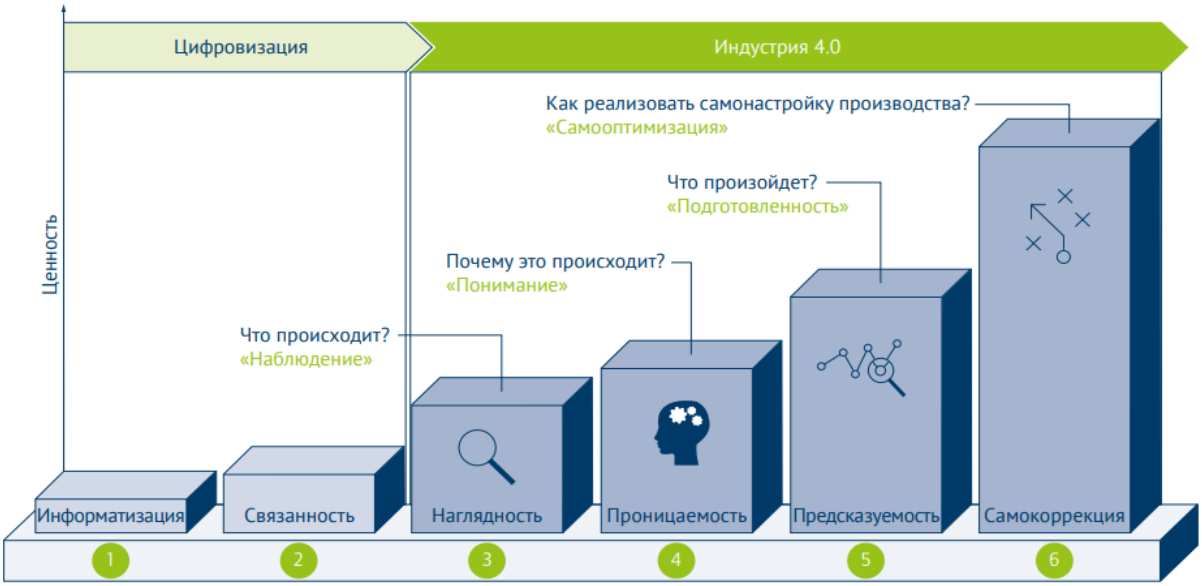


Рис.2 Этапы развития для Industry 4.0 [5].

На первом этапе цифровизации предполагается внедрение информационных технологий (ИТ), использующихся раздельно друг от друга в рамках компании. Не секрет, что информатизация (информационные технологии) широко распространена и дает существенные преимущества, без которых не произвести современную продукцию. Однако, с другой стороны, разрозненность информационных технологий и систем, применяемых на производстве, не до конца раскрывает их преимущества [6].

На втором этапе на место разрозненности приходит связанность или интеграция информационных систем (ИС) и ИТ. Как известно, сегодня современные предприятия идут по пути интеграции ИС (CAD/CAMCAE) к привязке жизненному циклу изделия (ЖЦИ).

После завершения этапа цифровизации, согласно исследованию, дальше наступает третий этап («наглядность») построения цифровой модели производственного предприятия, являющийся началом концепции индустрии 4.0 и позволяющий организовать единое информационное пространство (ЕИП) предприятия для обеспечения ЖЦИ.

Таким образом данные предложенные мероприятия позволят минимизировать внутренние ограничения производственного предприятия и подойти к концепции Industry 4.0 ближе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. [Электронный ресурс]. URL:https://www.accenture.com/~/media/Accenture/next-gen/cmt-high-tech-industry-UD/documents/Accenture-PoV-A-New-High-Tech-Final.pdf

2. [Электронный ресурс]. URL:https://openedu.ru/course/spbstu/FUTFACT/

3. *Бабушкин В.М., Габитов Э.И., Бариева Д.Р., Мазитова К.Д.* Факторы и ограничения цифрового производства современных наукоемких предприятий // В сборнике: Лучшая студенческая статья 2019. сборник статей XXI Международного научно-исследовательского конкурса. Пенза, 2019. С. 76-81.

4. ГОСТ Р 56407 – 2015. Бережливое производство. Основные методы и инструменты. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 мая 2015 г. № 448-ст.

5. Производственный менеджмент. Теория и практика: учебник для бакалавров / И.Н. Иванов, А.М. Беляев [и др.] ; под ред. И.Н. Иванова. – М.: Издательство Юрайт, 2014 – 574с. – Серия: Бакалавр. Углубленный курс.

6. [Электронный ресурс]. URL:https://www.acatech.de/wpcontent/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_rus_Maturity_Index_WEB.pdf

FACTORS AND LIMITATIONS OF ENTERPRISES TRANSITION TO DIGITAL PRODUCTION

Gabitov E.

gabitov.emil@mail.ru

Supervisor: M. Babushkin, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

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

Digital production is the most important driver of the modern economy, including the use of information technologies in the planning of production management synchronized with the increasing demands of consumers. States with a high level of economy and developed industry have a great impact on the standard of living of the population.

УДК 338

ПРОЦЕСС УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИЯМИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Захматова И.В.

Garant-imperial@mail.ru

Научный руководитель: Л.Ф. Нугуманова, д.э.н., профессор

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В статье проведено исследование понятия цифровая экономика, инновационное управление, инновационная политика промышленного предприятия с учётом новых условий хозяйствования и развития цифровой экономики. Представлен авторский подход к структурированию инновационной политики в условиях цифровой экономики. Рассмотрены этапы процесса управления инновациями.

В современных экономических условиях развития инженерного предпринимательства и цифровой экономики инновационный путь развития предприятия является одним из самых эффективных средств преодоления кризисных явлений. Инновационная политика выступает приоритетной поддержкой конкурентоспособной продукции и способствует формированию рынка высоких технологий.

В связи с этим, для устойчивого экономического роста и развития субъекта хозяйствования любого уровня необходим хозяйственный механизм, построенный на системном взаимодействии инновационнообразующих факторов. Данные возможности привносят цифровые технологии и цифровая экономика.

Цифровая экономика (*электронная, веб-, интернет-экономика*) – экономическая деятельность, основанная на цифровых технологиях, связанная с электронным бизнесом и электронной коммерцией, и производимых и сбываемых ими электронными товарами и услугами [1]. Цифровая экономика позволяет более эффективно реализовывать инновационную политику промышленного предприятия.

Инновационное развитие предприятия во многом зависит от наличия благоприятной среды и инновационного климата, стимулирующих создание инноваций, обеспечивающих превращение идей и разработок в рыночные продукты, внедрение этих продуктов в важнейшие отрасли экономики и социальную сферу.

Для современного предприятия важно обеспечить трансформацию инновационной среды в соответствии с потребностями цифровой экономики. Таким образом, можно сказать, что инновационная политика предприятия в современных условиях понимается как совокупность инновационных проектов предприятия, реализуемых путём развития цифровых сервисов и технологий.

В настоящее время доля цифровой экономики в ВВП в мире составляет 5,5 %, в ЕАЭС – около 2,8%. В России данные тенденции также присутствуют. Согласно отчёту World Economic Forum по показателям доступности, использования и влияния цифровых технологий на экономические отношения наша страна относиться к 30% наиболее продвинутых стран.

Потенциал цифровой экономики до 2025 года измеряется в 30 трлн.долл. по оценкам Всемирного экономического форума. Цифровая трансформация нужна любому промышленному предприятию, которое заботится о сохранении своих конкурентных позиций на рынке. Цифровизация, согласно эволюционному подходу, неизбежна. Соответственно, нужно обеспечить подготовку всей инновационной экосистемы предприятия для работы в новых цифровых условиях. При этом конкуренция будет только усиливаться, так как цифровизация по своей природе приводит к расширению экономического пространства, делает его единым для всех, стираются любые рыночные границы и каждое предприятие должно конкурировать уже на мировом рынке.

В изучении инноватики как науки, способствующей формированию инновационной политики предприятия, намечаются новые научные фронтиры – связанные с цифровизацией, как феномена инноватики, фактора конкурентоспособности, показателя инновационного развития и своеобразного «мостика» между текущим и будущим финансово-хозяйственным состоянием предприятия в реализации его инновационной политики.

В условиях цифровой экономики инновационная среда приобретает ряд новых перспективных особенностей: всеобщее проникновение технологий четвёртой промышленной революции; первостепенное значение получают глобальное партнерство, сотрудничество и интеграция на основе формирования экосистем; возрастает мультидисциплинарность и конвергенция всех элементов инновационной среды; осуществляется стремительный переход на кастомизированные продукты и услуги, что сопровождается повышением уровня сложности производства, технологий и выпускаемых изделий, тотальной цифровизацией всего жизненного цикла изделий.

На основании вышеизложенного, целесообразно предложить авторское видение инновационной политики в условиях цифровой экономики, базирующейся на следующих элементах (рис. 1.1):

1. Ценности (доверие, отношение к науке и предпринимательству, честность ведения бизнеса и конкуренции).
2. Институты (государственное управление, защита прав собственности, уровень коррупции, налогообложение, условия для создания бизнеса, импортозамещение, поддержка экспортеров).
3. Зрелость рынков и отраслей (доступность капитала, структура экономики).
4. Инфраструктура (транспорт и энергетика, телекоммуникации).
5. Технологии (патенты, венчурные фонды, стартапы).
6. Человеческий капитал (качество образования, качество науки, компетенции, знания).



Рис. 1. Авторский подход к структурированию инновационной политики в условиях цифровизации

Цифровизация промышленного предприятия подразумевает следующие составляющие: цифровую инфраструктуру, цифровые инструменты, цифровые компетенции. Цифровая трансформация промышленного предприятия должна осуществляться по пяти направлениям: нормативная документация, инфраструктура, кадры, технологии, мышление. Данные направления должны быть взаимоувязаны по ключевым инициативам, мероприятиям и результатам цифровой трансформации, что позволит в полной мере реализовать системный потенциал цифровой экономики посредством встраивания цифровых технологий в деятельность промышленного предприятия по всей цепочке создания добавленной стоимости.

Инновационное управление – это совокупность принципов, методов и форм управления инновационными процессами, инновационной деятельностью, занятыми этой деятельностью организационными структурами и их персоналом [2].

Процесс управления инновациями осуществляется в несколько этапов, последовательность которых отражена на рис. 1.2. [3].

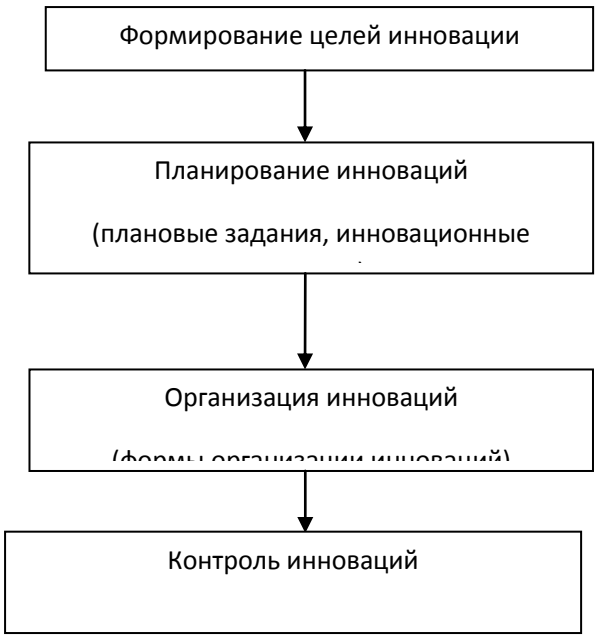


Рис. 2. Алгоритм управления инновациями

Процесс управления инновациями начинается с формирования целей инновационного менеджмента. К процессу целеполагания предъявляется ряд требований:

– цели должны быть измеримы, так как идентификация инноваций подразумевает их способность к обеспечению дополнительного эффекта, для определения которого должны быть созданы соответствующие условия;

– цели инноваций должны содержать точные целевые ориентиры, т.е. устанавливать период, в течение которого могут быть получены желаемые результаты;

– цели должны быть практически достижимы. При их формировании следует иметь в виду, что они подлежат согласованию с ресурсным потенциалом предприятия, так как только в таком случае могут приниматься обоснованные стратегические решения;

– множество целей, устанавливаемое инновационным менеджментом, не должно содержать противоречий. Это означает, что разнообразные цели должны быть взаимоувязаны и, несмотря на необходимость их дифференцирования по уровням управления, направлены на формирование единых результатов.

На втором этапе обеспечивается планирование инноваций, предусматривающее обоснование основных направлений инновационной деятельности и установление оптимальных пропорций в данном процессе.

Планирование инноваций включает в себя [4]:

- детализацию целей инноваций и их доведение до локальных звеньев инновационной системы;
- определение состава и содержания, подлежащих реализации проектов;
- распределение заданий между участниками инновационного процесса;
- определение необходимого объёма и структуры ресурсов, источников и сроков их поступления;
- согласование очерёдности работ, которые должны проводиться в ходе реализации инновационных проектов.

Сложный комплекс проблем, стоящих перед российскими предприятиями, которые связаны с необходимостью установления и укрепления рыночных позиций, увеличением конкурентоспособности производимой продукции, применением принципов маркетинг-менеджмента, расширением инновационных источников и возрастанием инновационного риска, обусловливает усиление роли планирования инноваций.

Функциональное содержание последнего видоизменяется и усложняется, инновационные процессы приобретают качественно новый, системный характер.

На третьем этапе реализуется функция организации инноваций. Её сущность состоит в обеспечении выполнения установленных плановых заданий в соответствии с выдвинутыми целями инновационного развития.

Теория и практика инновационного менеджмента предлагают множество форм организации инноваций, основными из которых являются: специализация; концентрация; кооперирование; комбинирование.

Под специализацией инноваций понимается ограничение инновационного профиля, а также закрепление за определенными подразделениями конкретных видов работ или инновационных продуктов. При этом широта данного профиля может быть разной, как различны факторы, её определяющие [5].

Концентрация характеризует процесс сосредоточения инноваций определённого профиля в крупных инновационных фирмах.

Кооперирование в инновационной сфере призвано задействовать резервы межфирменного сотрудничества и международной координации инновационных процессов. Оно наиболее эффективно при реализации масштабных инновационных программ и проектов.

Под комбинированием подразумевается создание и функционирование на предприятиях, ориентированных на внедрение инноваций, сопутствующих производств и инновационных процессов. Комбинированная форма организации может быть использована в поиске новых сфер применения уже существующей продукции.

Способы организации инноваций могут носить формальный и неформальный характер. И в том, и в другом случае они должны учитывать фактор организационной культуры.

Четвертый этап включает функцию контроля инноваций, завершающего управленческий цикл. Существует несколько видов контроля инновационных процессов.

Стратегический контроль является прерогативой высшего уровня управления. Он предусматривает учёт, оценку и анализ результатов реализации инновационной концепции. С позиций маркетинг-менеджмента он может быть охарактеризован как контроллинг [6].

Оперативный контроль является функцией среднего и низшего звена. Его направление – результаты деятельности отдельных инновационных подразделений, реализации конкретных мероприятий и планов.

Финансовый контроль ориентирован на конечные экономические результаты предприятий, способствующие инновационному развитию. Административный контроль инноваций ориентирован не на результирующие параметры, а на управление инновациями.

Формы и масштабы контроля инноваций обусловлены воздействием двух факторов: субъектами контроля и конкретной задачей его организации. Каждое предприятие организует внутренний контроль инновационных процессов. При этом само предприятие и его инновационная деятельность являются объектом контроля со стороны внешних контролирующих организаций (финансовых, правовых, природоохранных и т.д.).

Внутренний и внешний контроль может быть полным, т.е. строиться как целостная, постоянно функционирующая система, способная реализовать не только контролирующую, но и стратегическую функцию контроллинга. Выборочный контроль осуществляется в виде разовой акции.

Разнообразные формы и виды контроля инноваций на предприятиях позволяют создать действенный механизм эффективного руководства инновационной деятельностью, в которой централизованное управление оптимально сочетается с инициативностью и творческой активностью структурных подразделений.

Таким образом, в рамках данной статьи можно сделать вывод, что для реализации проекта по внедрению нового решения управленческое звено фирмы в первую очередь выявляет потребность: рынку может быть нужен принципиально новый продукт,

качественное изменение старого или новая технология производства. Затем разрабатывается механизм воплощения идеи в жизнь.

Цикл, который проходит инновационная политика организации, включает в себя исследования (фундаментальные, прикладные, маркетинговые), подготовку, проектирование, запуск в производство, оценку прибыльности и внесение корректировок в первоначальный замысел при необходимости.

Инновационная политика проявляется в реализации каких-либо инновационных проектов, различных по масштабам, приложению, целям и содержанию. В условиях цифровой экономики портрет инновационного проекта приобретает определённую специфику. Она заключается в использовании современных возможностей цифровизации для достижения целей развития предприятия. Соответственно назрела объективная необходимость рассмотреть в следующих главах диссертации возможности совершенствования инновационной политики с помощью цифровых технологий.

Для современного предприятия совершенно необходимо развивать цифровую среду продвижения своих рыночных интересов. При этом мы понимаем, что для повышения рыночной конкурентоспособности в условиях цифровой экономики для формирования эффективной инновационной политики необходимо наличие структурированного управленческого механизма, нацеленного на повышение уровня финансовой устойчивости и ликвидности, экономической рентабельности производства, социальной удовлетворённости и трудовой мотивации персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Алексеев И.В.* Цифровая экономика: особенности и тенденции развития электронного взаимодействия / И.В. Алексеев // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 18 дек. 2016 г.). В 2 т. Т. 2. − Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. − № 4 (10). С. 42-45.

2. *Голубков Е.П.* Инновационный менеджмент. Технология принятия управленческих решений / Е.П. Голубков. – М.: Дело и сервис, 2015. – 464 с.

3. Инновационное предпринимательство. Учебник и практикум. – М.: Юрайт, 2015. – 524 с.

4. *Карепова С.Г.* О развитии инновационных проектов и цифровой экономики ЕАЭС: возможности, вызовы и риски / С.Г.Карепова, И.А.Селезнев // Соц.-гуман. знания. – 2018. – N 3. – С.112-123.

5. *Лимитовский М.А.* Инвестиционные проекты и реальные опционы на развивающихся рынках: учеб.-практ. пособие / М. А. Лимитовский. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2015. – 486 с.

6. *Леонтьев И.Л.* Моделирование инновационно-инвестиционного развития социально значимых объектов территории: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / И. Л. Леонтьев. – Екатеринбург, 2013. – 41 с.

THE PROCESS OF MANAGING INNOVATIONS AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISE IN THE CONDITIONS OF DIGITALIZATION

Zakhmatova I.

Garant-imperial@mail.ru

Supervisor: L. Nugumanova, Doctor of Economic Sciences, Professor

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

The article conducted a study of the concept of digital economy, innovation management, innovation policy of an industrial enterprise, taking into account new business conditions and the development of the digital economy. The author's approach to structuring innovation policy in the digital economy is presented. The stages of the innovation management process are considered.

УДК 67.02

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕХОВ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

Зяблицев В.М.
vazerz@mail.ru
Научный руководитель: С.Н. Лалетин
(АО «Казанский Гипрониавиапром», г. Казань)

В данной работе рассматривается подход к трехмерному проектированию строительных объектов, заключающийся в создании компьютерной модели проектируемого здания, которое несет в себе все сведения о будущем объекте. Данный подход был успешно используется АО «Казанский Гипрониавиапром» при проектных работах.

Важным этапом работ по реконструкции и техническому перевооружению предприятий машиностроения является промышленное проектирование. Все более возрастающие требования к сложности строительных конструкций, появление новых материалов и технологий с одной стороны, и необходимость сокращения сроков проектирования с другой стороны, требуют применения при проектировании инновационных методов проектирования и специальных программных продуктов. Одним из прогрессивных методов проектирования является трехмерное проектирование, заключающееся в создании компьютерной модели проектируемого здания, которое несет в себе все сведения о будущем объекте.

Трехмерное проектирование на сегодняшний день – это совершенно иной подход к возведению, оснащению, обеспечению эксплуатации цеха предприятия, включая его экономическую составляющую. Моделирование позволяет исключить ошибки, возникающие на стадии проектирования и максимально понятно донести до Заказчика на стадии согласования основную компоновку участков и размещение технологического оборудования на различных участках корпуса. При работе в 3D-модели предприятия создается алгоритм проектирования, задаются геометрические взаимосвязи между технологическим оборудованием и инженерными сетями проекта. При переносе модели на двухмерный вид (планировки и чертежи) документация выглядит нагляднее и лаконичнее. При введении изменения в проектную документацию в трехмерном пространстве, касающиеся того или иного объекта, эти изменения автоматически отображаются на чертежах. При этом так же автоматически изменяются геометрические размеры, нанесенные на документацию.

Трехмерное моделирование в проектировании промышленных предприятий успешно применяется в АО «Казанский Гипрониавиапром». Одним из основных программных продуктов при 3D-моделировании в нашем институте является «Autodesk Revit».

В качестве примеров можно привести несколько проектов, выполненных АО «Казанский Гипрониавиапром».

I. Проект по реконструкции и техническому перевооружению корпуса №175 ПАО «УМПО», г. Уфа

Основной целью технического перевооружения и реконструкции производства публичного акционерного общества «Уфимское моторостроительное производственное объединение» (ПАО «УМПО»), г. Уфа является создание специализированного производственного комплекса изготовления роторов турбин и роторов компрессоров. В рамках этого этапа осуществляется объединение производственных мощностей цехов 23,24 в корпусе 175. Ранее эти цехи размещались на площадке № 1 ПАО «УМПО»: цех 23 – в корпусе 2 (площадь 9400 м^2); цех 24 – в корпусе 52 (площадь 10300 м^2).

Производственные площади корпуса 175 (25920м^2) ранее принадлежали ликвидированному производственному комплексу ОАО «Уфимский завод автомобильных моторов».

В составе цехов предусматриваются участки по обработке деталей из жаропрочных сплавов на никелевой основе; титановых сплавов; жаропрочных, нержавеющих сталей. Оборудование, предназначенное для обработки деталей из титановых сплавов, размещено в определенных зонах.

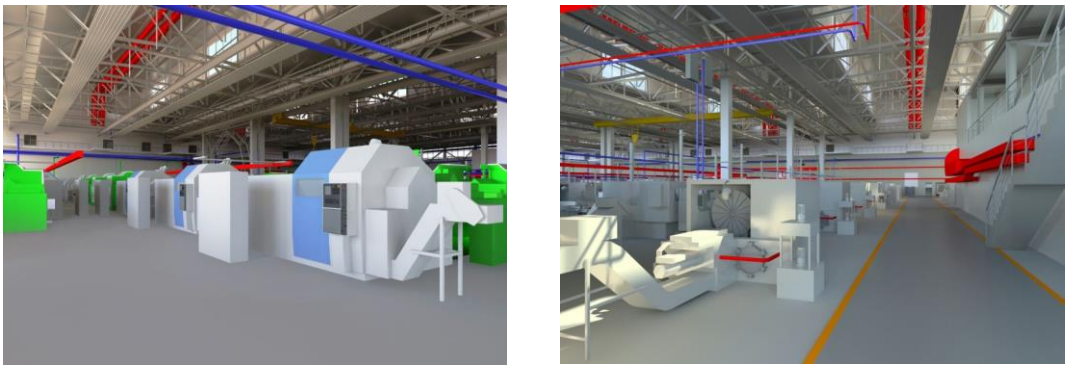


Рис. 1. 3D модель механообрабатывающих цехов в корпусе №175

II. Проект по строительству нового механосборочного корпуса №111А для ПАО «КУЗНЕЦОВ», г. Самара с организацией сквозных технологических цепочек производства компрессоров авиадвигателей на базе высокопроизводительного и высокоточного оборудования.

Участки, размещаемые во вновь строящемся корпусе №111А, специализируются на изготовлении деталей типа тел вращения, компрессорных лопаток, а также сборке узлов роторов компрессоров высокого и низкого давления, в том числе: дисков, фланцев, цапф компрессоров низкого давления; валов, цапф компрессоров высокого давления, колец распорных. Производится механическая обработка деталей и узлов, упрочнение, полировка, контроль, сборка компрессоров.

Основные детали изготавливаются из жаропрочных сплавов на никелевой основе, титановых сплавов, жаропрочных, нержавеющих сталей. Заготовками являются: штамповки, прокат, прутки.



Рис. №2. 3D модель корпуса №111А

III. Проект по строительству испытательной станции для ОАО «Арамильский авиационный ремонтный завод», г. Арамиль, Свердловской области.

Основной целью проекта по реконструкции и техническому перевооружению открытого акционерного общества «Арамильский авиационный ремонтный завод» является завершение освоения полного цикла капитального ремонта двигателя Д-36 на территории Российской Федерации с последующей перспективой освоения капитального ремонта двигателя Д-436.

Это позволяет отказаться от услуг завода – изготовителя двигателей ОАО «Мотор Сич» по ремонту двигателей и избежать транспортировку двигателей на Украину, а также

таможенное оформление техники двойного назначения существенно снизит себестоимость ремонта.

В строящейся испытательной станции ОАО «ААРЗ», в испытательном боксе будут осуществляться предъявительские (сдаточные), приемно-сдаточные (контрольные) и ресурсные (длительные) испытания ТРДД – Д-36 и ТВД – Д-436 и их модификаций на универсальном испытательном стенде.



Рис.3. 3D модель общего вида испытательной станции

IV. Проект по реконструкции и техническому перевооружению испытательного корпуса №6 ПАО «КУЗНЕЦОВ», г Самара.

В программе возобновления строительства стратегических бомбардировщиков ракетоносцев ТУ-160 особое место занимает проект выпуска обновленных двигателей НК-32 серии 02.

Важным шагом по данной программы стал проект по ремонту и модернизации испытательного стенда №1 в корпусе №6 в ПАО «КУЗНЕЦОВ».

Основной целью проекта является реконструкция и техническое перевооружение стендовой базы для проведения полного спектра испытаний двигателей НК-32 серии 02, в том числе с подогревом воздуха на входе в изделие.

Реконструкция и техническое перевооружение стендовой базы включила себя:

- замену инженерных сетей;
- модернизацию и полную замену оборудования стендовых технологических систем.



Рис. №4. 3D модель испытательного корпуса №6

В августе 2017г. испытательный стенд сдан в эксплуатацию и аттестован для проведения испытаний двигателей НК-32.

По данному проекту АО «Казанский Гипрониавиапром» выступил разработчиком проекта, генеральным подрядчиком и изготовителем оборудования.

Заключение: акционерное общество «Казанский Гипрониавиапром» в условиях возрастания объемов строительства новых и реконструкции существующих предприятий авиационной, двигателестроительной и ракетно-космической промышленности, сокращения сроков проектирования, повышения требований к качеству проектной документации широко применяет процесс 3D-моделирования.

Ключевыми преимуществами 3D-моделирования производственных объектов являются:

- упрощение процесса проектирования;
- повышение качества проектной документации и сокращение сроков проектных работ;
- коллизии сложного и объемного инженерного проекта, характерного для промышленных зданий, можно обнаружить и исправить до его передачи на стадию фактической реконструкции, сэкономив время и бюджет. Адаптивные свойства информационной модели позволяют автоматически обновлять все связанные разделы проекта при внесении исправлений в любой из них;
- информационная 3D модель дает возможность сравнить исходный объект, с проектом реконструкции, наглядно продемонстрировать архитектурные и инженерные решения заказчику, быстро провести согласования на каждом этапе проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *В.В. Талапов* «Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий», М.: ДМК Пресс, 2011

2. BIM – Building Information Modeling. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.oaopmp.ru/seminars/17-12-2008-bims.html

3. Программное обеспечение для 3-D проектирования, графики и анимации [Электронный ресурс] / Autodesk. – Режим доступа: www.autodesk.ru, свободный.

TECHNOLOGY OF DESIGN OF MACHINING SHOPS AND TEST STANDS OF ENGINE-BUILDING ENTERPRISES USING 3D MODELING SYSTEMS

V. Zyablitsev

vazerz@mail.ru

Supervisor: S. Laletin

(Joint-stock company «Kazan GIPRONIIAVIAPROM»)

This paper discusses the approach to three-dimensional design of construction objects, which consists in creating a computer model of the designed building that carries all the information about the future object. This approach was successfully used by Joint-stock company «Kazan GIPRONIIAVIAPROM» during design work.

УДК: 338.2:004.9

ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ибятов К.И., Мазитова К.Д., Шарипов А.Р.

Sharipov.a.r@inbox.ru

Научный руководитель: В.М. Бабушкин, к.э.н., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Мировая промышленность на сегодняшний день находится на этапе цифровизации. Будь то «Промышленность 4.0», как в Европе, «Промышленный Интернет вещей (IIoT)», как в Соединенных Штатах, или просто «умное производство», применение информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), находится в процессе модернизации современного производства. Эта цифровизация меняет то, как продукты разрабатываются, изготавливаются, используются, эксплуатируются и обслуживаются после продажи, так как они преобразуют операции, процессы и энергетический след заводов и управление производственными цепочками поставок. Такое сближение цифровых технологий с обрабатывающими отраслями также обещает переделать ландшафт глобальной конкуренции умного производства.

Умное производство стимулируется появлением и развитием многих технологий, включая: программное обеспечение для автоматизированного проектирования (CAD) и проектирования (CAE) с использованием высокопроизводительных вычислений (HPC); облачные вычисления; Интернет вещей; передовые сенсорные технологии; 3D печать; промышленная робототехника; аналитика данных; машинное обучение; и беспроводное

соединение, обеспечивающее лучшую связь между компьютерами (M2M). Среди наиболее важных из них - объединение датчиков и программного обеспечения в Интернет вещей (IoT). В производственной среде IoT относится к использованию датчиков в производственном оборудовании (таких как роботы, штампы, приводы, 3D-принтеры, машины с числовым программным управлением (ЧПУ) и т. Д.), А также к продуктам, которые они производят (например, реактивные двигатели, газовые турбины, радиологическое оборудование, транспортные средства и т. д.) для обеспечения потока информации в реальном времени о рабочем состоянии и состоянии оборудования или продукта. Благодаря IoT устройства по существу обогащаются «встроенными вычислениями», которые позволяют им взаимодействовать и общаться друг с другом. Таким образом, многие «вещи» в IoT - это действительно датчики, встроенные в устройства, машины и продукты, которые измеряют все, начиная от производительности, потребления, износа, нагрузки, положения и емкости, до таких существенных условий работы, как температура, влажность и электрический поток IoT будет поддерживать системы управления производством, системы управления складом и системы управления транспортировкой, развернутые в цехах и на складах. Интеграция этой информации с нескольких машин в цехе завода, а затем с информацией с других заводов по всей производственной цепочке, в том числе поставщиков, может предоставить производственным предприятиям информацию в реальном времени об их производственных процессах и предоставить им информацию, необходимую для создания лучшие эксплуатационные и производственные решения. Эти датчики играют ключевую роль в создании информационных потоков, на которые опираются интеллектуальные технологии производства. За последнее десятилетие стоимость таких датчиков снизилась более чем в сто раз, в то время как количество датчиков, поставляемых по всему миру, увеличилось с 4,2 миллиарда в 2012 году до 23,6 миллиарда в 2014 году. На такие датчики будет приходиться значительная доля в 50 миллиардах «вещей» как ожидается, будет подключен к Интернету к 2020 году.

Внедрения IoT часто влияют на многие аспекты их производственных процессов и бизнес-моделей выхода на рынок. Рассмотрим опыт Kaeser Kompressoren, немецкого производителя компрессоров, которые обеспечивают последующие производственные операции в различных секторах, включая автомобильную, химическую и фармацевтическую промышленности. Kaeser имеет более 100 000 компрессоров, которые активно используются клиентами. Каждый раз, когда компрессор выходит из строя, он проникает в производственные системы заказчиков, останавливая их работу. Чтобы избежать незапланированных простоев и простоев системы, Kaeser начал оснащать свое оборудование датчиками IoT для сбора ключевых данных об окружающей среде и рабочих характеристиках, таких как температура, влажность и вибрация. Благодаря тому, что оборудование непрерывно передает свой рабочий статус в режиме реального времени, Kaeser проводит аналитику чтобы определить, могут ли детали сломаться, и таким образом определить и заменить неисправные детали во время регулярного технического обслуживания, а не после сбоя. По оценкам Kaeser, такой подход привел к 60-процентному сокращению незапланированных простоев оборудования, а также к ожидаемой ежегодной экономии в размере 10 миллионов долларов США на устранение неполадок, поскольку компания может лучше прогнозировать свои потребности в запасах.

Но хотя возможность отслеживать рабочее состояние своего оборудования дала существенную эффективность работы, это также позволило Kaeser запустить бизнес-модель «воздух как услуга», в которой клиенты больше не покупают компрессоры Kaeser, а арендуют компрессоры и оплачивают за использованный сжатый воздух. Это выгодно клиентам Kaeser, которые могут перевести больше своих расходов с капитальных затрат на операционные расходы (капитальные затраты на эксплуатационные расходы), а также отслеживать их использование в режиме реального времени и более эффективно управлять их потреблением. Это также означает, что клиенты могут увеличивать или уменьшать потребление по мере изменения потребностей своих производственных операций без

необходимости приобретать новое компрессорное оборудование. Kaeser сообщает, что эта бизнес-модель «воздух как услуга» позволила сократить потребление сжатого воздуха на 28,5% для типичного производителя строительных материалов и 30 000 евро в год экономии для производителя краски. Этот пример показывает, как IoT может повысить операционную эффективность, улучшить управление запасами и цепочкой поставок, и даже полностью изменить бизнес-модель компании.

HIROTEC является японским поставщиком оборудования и деталей для производства автомобилей премиум-класса с 26 предприятиями в девяти странах, которое проектирует и производит около 7 миллионов дверей и 5 миллионов выхлопных систем в год. Стоимость незапланированных простоев для автопроизводителей ошеломляет, оценивается в 1,3 миллиона долларов в час или 361 доллар в секунду. Как замечает Джастин Хестер, старший научный сотрудник лаборатории IoT в HIROTEC: «Если для сообщения о проблеме требуется 3-минутный телефонный звонок, вы теряете 70 000 долларов, просто сообщая кому-то, что у вас есть проблема». «HIROTEC стремился разработать конкурентную стратегию, чтобы извлечь выгоду из потенциальных преимуществ Интернета вещей. Он пилотировал, а затем создал облачную платформу IoT. HIROTEC впервые включил IoT, собрал и проанализировал данные с восьми станков с ЧПУ на своем заводе в Детройте, штат Мичиган. Затем она использовала платформу IoT для удаленной визуализации автоматизированной линии контроля выхлопной системы, роботизированных инспекционных роботов, датчиков силы, лазерных измерительных приборов и камер, чтобы выполнять визуализацию в реальном времени и автоматическую безбумажную генерацию отчетов для всего производства. линия по производству автомобильных дверей. Внедрение дало HIROTEC возможность в реальном времени наблюдать за своими бизнес-операциями и позволит использовать функциональность машинного обучения для прогнозирования и предотвращения дальнейших сбоев систем. HIROTEC сообщает, что практически исключил время, затрачиваемое на ручную проверку производственных систем, освобождая работников для более производительных и более важных задач. Как заключает Хестер: «Всего за шесть коротких недель мы получили больше информации о наших операциях, чем когда-либо прежде.

На своем заводе в Уоррене, штат Мичиган, недалеко от Детройта, производитель промышленной робототехники Kuka использовал IoT для создания высокоавтоматизированного завода, которая создает автомобиль Jeep Wrangler. Данный завод имеет более 60 000 устройств, включая 259 роботов сборочной линии, в центральной системе управления данными. Объединив устройства, бизнес-приложения и бэкэнд-системы вместе, Kuka добилась автоматизированного производственного процесса, способного производить один из восьми различных кузовов Jeep Wrangler каждые 77 секунд с одной и той же производственной линии, не прерывая производственный процесс. Более того, все задачи центрального управления и диагностические процессы могут выполняться непосредственно на роботах из интерфейса панели управления. Kuka полагает, что эта автоматизация обеспечит непрерывную бесперебойную работу порядка 24 часов в день на протяжении более восьми лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Аверьянов М.А., Евтушенко С.Н., Кочеткова Е.Ю.* Цифровое общество: Новые вызовы//Экономические стратегии.2016 г. №7 (141). С.90-91

2. *Кунгуров Д.* Россиян ждет цифровая экономика / Д. Кунгуров // Утро.ру. - 04.12.2016 г. [Электронный ресурс URL: https://utro. ru/articles/2016/12/04/1307336.shtml].

3. Развитие цифровой экономики в России как ключевой фактор экономического роста и повышения качества жизни населения: монография / Нижний Новгород: издательство «Профессиональная наука», 2018 г.8 стр.

4. Цифровая Россия: новая реальность. 19 июля 2017 г. McKinsey Global Institute [Электронный адрес URL:http://www.tadviser.ru/images/c/c2/Digital-Russia-report.pdf]

5. Развитие цифровой экономики в России. Доклад Всемирного 20 декабря 2016г.[Электронный адрес URL: http://gosbook.ru/node/94904]

6. Neogronte, N.(1995)Being Digital Knopf (Paper edition 1996, Vintage Books)

7. *Б. Гейтс.* Бизнес со скоростью мысли. - М.: Эксмо-Пресс,2000.

8. *Добрынин А.П., Черних К.Ю., Куприяновский В.П.* «Цифровая экономика – различные пути к эффективному применению технологий» // А.П. Добрынин, К.Ю. Черних, В.П. Куприяновский // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. - №1 (4). 4-10 стр.

9. *Карягин М.* Информатизация в России: госуслуги, цифровая экономика и «технологический перекос//Инфометр – 2017. – [Электронный адрес URL: http://infometer.org/blogi/informatizacziya-v-rossii]

10. *Куприяновский В.П., Синягов С.А., Липатов С.И.* «Цифровая экономика – «Умный способ работать» // В.П. Куприяновский, С.А. Синягов, С.И. Липатов // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. 2 (4). 26-32 стр.

PROSPECTS OF DIGITALIZATION OF MODERN PRODUCTION

Ibyatov K., Mazitova K., Sharipov A.

Sharipov.a.r@inbox.ru

Supervisor: M. Babushkin, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

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

The global industry is currently at the digitalization stage. Whether “Industry 4.0”, as in Europe, “Industrial Internet of Things (IIoT)”, as in the United States, or simply “smart manufacturing”, the application of information and communication technologies (ICT) is in the process of modernizing modern manufacturing. This digitalization changes the way products are developed, manufactured, used, operated and maintained after sales, as they transform the operations, processes and energy footprint of factories and the management of production supply chains. This convergence of digital technology with the manufacturing industry also promises to redo the landscape of global competition for smart manufacturing.

УДК 658.5.011

СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Капитанов А.В., Козлова А.В.

a.kozlova@stankin.ru

(Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва)

Данная статья посвящена исследованию влияния цифровизации компаний на развитие СМК, выявление рисков цифровизации. Важнейшие направления цифровой трансформации СМК компаний, факторы проанализировано влияние этого процесса в условиях современной экономики. Внедрение системы менеджмента качества ориентирует компанию на постоянное совершенствование всех внутренних процессов и тем самым позволяет добиться положительного экономического эффекта. В настоящее время происходит постепенная трансформация страны в информационное общество через внедрение новых технологий и платформ.

Программа развития цифровой экономики в Российской Федерации в период до 2035 г. определяет основные направления и содержание работ по переходу промышленных предприятий на цифровые технологии – как производственные, так и управленческие. В условиях новой индустриальной революции данные технологии призваны решать проблему обеспечения качества и конкурентоспособности продукции, эффективности и устойчивого развития производств, обеспечения комфортных и безопасных условий труда.

В связи с этим для эффективного решения поставленных перед промышленностью задач в условиях глобальной цифровизации необходима трансформация сложившейся системы

менеджмента качества с целью ее адаптации к современным информационным технологиям и инновационным техническим решениям.

Согласно табл. 1, цифровизация компаний ведет к кадровым, технологическим и инновационным эффектам развития СМК. Однако с развитием теории и практики изучения процесса цифровизации ученые обращают внимание на возможное возникновение рисков цифровизации компаний и их СМК. Систематизация рисков цифровизации СМК представлена в табл. 2.

Таблица 1.

Систематизация эффектов развития СМК в условиях цифровизации экономики.

Фактор цифровизации	Эффекты развития СМК компании
Технологические инновации (робототехника, искусственный интеллект, системы больших данных)	Изменение операционной модели компаний
	Повышение эффективности затрат (для сферы услуг сокращение затрат на 40–60%)
	Ускорение вывода новых продуктов на рынок
	Повышение лояльности клиентов и частоты взаимодействия с ними, ведущее к росту доходности клиентской базы
	Создание партнерств или сотрудничества с компаниями в смежных областях, что позволяет также получить доступ к новым клиентским сегментам
	Производство высокотехнологичной продукции, востребованной на рынке (промышленность)
	Повышение финансовых показателей (прибыли, рентабельности компании)
	Рост конкурентоспособности компании
Инновации в HR-направлении (виртуальные коллаборации, *peer-to-peer,* репутационные системы оценки, цифровое интервьюирование)	Усиление человеческих ресурсов
	Привлечение талантов
	Укрепление HR-бренда
	Развитие цифрового лидерства
	Снижение транзакционных издержек на поиск и набор кандидатов
	Развитие кадрового потенциала компании
	Повышение социальной ответственности бизнеса
Инновации в области экономической безопасности (биометрические средства аутентификации пользователей, средства электронной подписи, современные антивирусные программы)	Рост уровня кибербезопасности
	Рост надежности компании в глазах потребителей
	Снижение затрат компаний

Таблица 2

Риски цифровизации СМК компаний

Группа рисков	Риски цифровизации СМК компании
Организационные риски	Нестабильность цифрового развития компаний
	Дисбаланс взаимоотношений стейкхолдеров внутри СМК
Кадровые риски	Риск снижения профессионального мастерства
	Образовательные риски
Технологические риски	Мошенничество в отношении данных компании
	Коррупция внутри организации

Цифровизация компаний вызывает трансформационные процессы в самой СМК. Можно выделить ряд направлений, подвергнувшихся изменениям: взаимоотношения с участниками, принципы СМК, процесс анализа и целевые показатели результативности СМК. В целом новая СМК в условиях цифровизации компаний имеет следующий вид (рисунок 1)



Рисунок 1 – Система менеджмента качества в условиях цифровизации.

Механизм удовлетворения потребностей стейкхолдеров компании становится более сложным. В условиях информационной экономики участники приобретают возможность активного участия в деятельности компании при создании ее ценности и имиджа на рынке. Специфические черты взаимодействия цифровой компании с участниками в рамках СМК представлены в табл. 3.

Таблица 3

Изменение характера взаимодействия с основными участниками в условиях цифровизации компаний

Участники	Общая цель СМК	Задачи традиционной СМК	Задачи СМК цифровой компании
Потребители	Достижение и сохранение желаемого качества продукции и услуг	Удовлетворение потребностей	Привлечение клиента к созданию ценности компании
Сотрудники	Повышение мотивации персонала на достижение конечного результата	Создание мотивированной рабочей силы	Формирование высококвалифицированной рабочей силы и развитие сотрудничества с рынком труда, привлечение персонала к созданию инноваций и ценности компании
Рынок труда	Формирование HR-бренда компании	Привлечение специалистов нужного качества в необходимом количестве	Сотрудничество на рынке труда (творческий инсорсинг, аутсорсинг и т.д.)
Регулирующие органы	Деятельность в рамках стандартов и норм	Поддержка и регулирование развития	Партнерство (ГЧП, кластеры)
Конкуренты	Возможность равной конкуренции с сертифицированными компаниями	Конкурентная разведка	Конкурентная разведка в медийном пространстве
Партнеры	Взаимопомощь и взаимовыгода	Ориентация на долговременное сотрудничество	Творческий инсорсинг, аутсорсинг
Поставщики	Заинтересованность поставщиков в долговременном сотрудничестве	Заключение эффективных контрактов	Удешевление трансакций и долговременное сотрудничество
Инвесторы	Рост инвестиционной привлекательности организации	Привлечение и удержание инвесторов	Партнерство (ГЧП, кластеры)

По табл. 3 видно, что характерной чертой развития СМК в условиях цифровизации компаний является изменение характера отношений со всеми сторонами, заинтересованными

в деятельности организации в сторону повышения открытости компании и сотрудничества. Особую важность имеет кадровый потенциал, который может рассматриваться как эффективный драйвер развития СМК, поскольку критерии влияния персонала на компанию усиливаются и требуют внимания.

Другим направлением трансформации СМК является дополнение ее принципов. В условиях цифровизации в рамках СМК необходимо использовать следующий ряд принципов:

1. Принцип гибкости: СМК должна легко подвергаться изменениям, если есть потенциал повысить качество услуг, производительность труда, прибыльность, снизить издержки, текучесть кадров.

2. Принцип инновационности: СМК должна способствовать развитию инновационного потенциала компании, стимулировать инициативность сотрудников, привлекать внешние ресурсы для создания инноваций.

3. Принцип технологичности: СМК должна использовать ИКТ (роботизация, CRM-системы и т.д.) для повышения качества обслуживания, снижения издержек, а также заниматься обучением сотрудников и развитием цифровых компетенций персонала.

Влияние цифровизации обусловливает изменение принципов оценки результативности СМК в сторону непрерывного анализа. Непрерывность анализа предполагает постоянный мониторинг всех элементов СМК с целью повышения ее результативности и эффективности. Важно заметить, что в настоящее время непрерывный анализ СМК – вполне реализуемая процедура, поскольку в условиях цифровизации целевые показатели результативности и эффективности становятся объективными и доступными в интернет-пространстве в виде форумов, рейтингов компаний (например, народного рейтинга, служебного рейтинга и т.д.), что позволяет получать необходимую информацию о компании в реальном времени.

Особое внимание следует обратить на развитие цифровых компетенций и цифрового лидерства в коллективе. Цифровая компетентность предполагает основанную на непрерывном овладении компетенциями (системой соответствующих знаний, умений, мотивации и ответственности) способность работника уверенно, эффективно, критично и безопасно выбирать и применять инфокоммуникационные технологии. В свою очередь, цифровое лидерство должно основываться на развитии знаний о новом цифровом мире, использовании передовых инструментов, постоянного ускорения и демонстрации навыков работы в цифровой среде.

Также для обеспечения развития СМК необходимы разработка цифрового стратегического плана по внедрению и использованию технологий на краткосрочную и долгосрочную перспективу, обеспечение кибербезопасности организации (информационной, кадровой), осуществление цифрового совершенствования кадрового потенциала, как основы эффективного развития СМК.

Таким образом, факторы цифровизации российских компаний служат источником разрешения многих проблем неэффективности СМК и выступают драйвером развития СМК. В рамках дальнейших исследований будет оцениваться эффективность выделенных направлений цифровизации СМК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Лимонова Е.В.* Цифровые компании: дефиниции и атрибуты // Экономическая безопасность и качество. 2018. № 1 (30). С. 37–40.

2. Новые правила игры в цифровую эпоху. Исследование «Делойта» «Международные тенденции в сфере управления персоналом» за 2017 год. URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/human-capital/russian/hc-2017-global-human-capital-trends-gx-ru.pdf.

3. Цифровая экономика: глобальные тренды и практика российского бизнеса. URL: https://imi.hse.ru/data/2017/10/06/1159517769.pdf.

4. Цифровая Россия: новая реальность. Отчет McKinsey. URL: www.tadviser.ru/images/c/c2/Digital-Russia-report.pdf.

5. *Гришина Т.Г.* Факторы, влияющие на оперативность управления технологическими системами, Вестник МГТУ Станкин. 2011. № 3 (15). С. 167-170.

6. *Юнин И.Ю., Феофанов А.Н., Капитанов А.В., Митрофанов В.Г.* Информационно-аналитические системы управления промышленным предприятием, Сварочное производство. 2011. № 8. С. 49-51.

7. *Капитанов А.В.,* Информационный подход в определении требуемой гибкости производственной системы, Перспективы развития информационных технологий. 2013. № 13. С. 24-26.

8. *Гришина Т.Г., Сычева Н.А.,* Экономический механизм управления качеством продукции, в сборнике: Технология, экономика и организация производства технических систем межвузовский сборник научных трудов. Под ред. О. В. Таратынова, Е. А. Резчикова. Москва, 2010. С. 158-164.

9. *Егоров С.Б., Капитанов А.В., Сильянова А.В.,* Управление качеством технологических процессов на основе статистического анализа, Страна живет, пока работают заводы Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор Овчинкин О.В.. 2015. С. 124-128.

THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION

A. Kapitanov, A. Kozlova

a.kozlova@stankin.ru

(*Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow*)

This article is devoted to the study of the impact of digitalization of companies on the development of QMS, identifying the risks of digitalization. The most important directions of digital transformation of QMS companies, factors analyzed the impact of this process in the modern economy. Implementation of the quality management system orients the company to continuous improvement of all internal processes and thus allows to achieve a positive economic effect. Currently, there is a gradual transformation of the country into an information society through the introduction of new technologies and platforms.

УДК 658.5.011

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И СТРАТЕГИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ КАК ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ НАУКОЁМКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Митрофанова Д.В., Овчинников А.Е.

d.mitrofanova.1995@gmail.com, eastonsc6@yandex.ru

Научный руководитель: Г.Ф. Мингалеев, д.э.н., профессор

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В статье представлены результаты проведенных исследований, отражающие существование разрыва между развитием технологий и организационными стратегиями на предприятии. Показано, что происходит медленное развитие стратегических вызовов рынка и отсутствует готовность к реализации стратегических задач. Предложены мероприятия по сокращению разрыва между технологиями и стратегиями за счет их интеграции с целью повышения конкурентоспособности наукоемкого производства.

На сегодняшний момент технологии задействованы во всех сферах нашей жизни. Производство и разработка организационных стратегий тому не исключение. Задачей является объединение ИТ инструментов для разработки наилучшей стратегии дальнейшего управления на предприятии.

Один из случаев, показывающих необходимость современных технологий для помощи в составлении организационных стратегий управления – это построение имитационной модели одного из цехов предприятия. Необходимо на конкретном примере проанализировать организационно-управленческие решения, способные решить поставленную задачу,

связанную с разработкой имитационной модели механического цеха изготовления деталей. После построения цифрового двойника цеха, полученные данные показали, что существует необходимость в оптимизации рабочего процесса в данном подразделении и более эффективной организационной стратегии.

Изучив причины появления потерь, были разработаны рекомендации по их устранению (таблица 1).

Таблица 1

Рекомендации по устранению потерь в механическом цехе изготовления деталей

Виды потерь	Состояние участка	Причины	Рекомендации
1. Ожидание	Недостаточная эффективность некоторых линий станков при изготовлении определенных сборочных узлов.	Несовершенство системы планирования производства и анализа эффективности производства	Составление имитационной модели цеха для выявления узких мест.
2. Лишние движения	Разбросанная часть предметов в цехе вынуждает рабочих искать необходимые инструменты и тратить на это время Рабочим при этом приходится выполнять лишние движения.	Нерациональная организация рабочего пространства; нерациональное расположение инструментов и оборудования;	Составление модели движения рабочих во время работы, чтобы наглядно показать важность проблемы.
3. Устаревшее оборудование	Для изготовления определенных сборочных узлов имеющееся в цеху оборудования является устаревшим, в виду чего качество конечного продукта может страдать.	Устаревшее оборудование.	Составление модели изготовления определенного сборочного узла для анализа процесса его изготовления и контроль качества.

1. Для устранения временного простоя необходим цифровой двойник механического цеха, чтобы выявить узкие места в линиях станков и рабочих мест. Проанализировав и выявив недостатки производства деталей, необходимо или добавить производственные мощности в узких местах производства, или направить часть потока в аналогичный цех.

2. Для устранения потери лишних движений рабочих также рекомендуется построить имитационную модель участка, добавив туда фактические траектории движений рабочих. Из такой модели будет наглядно видно, сколько времени рабочие тратят на поиск инструментов и других предметов. Таким образом, после анализа данной ситуации необходимо расположить достаточное количество ящиков для инструментов и осуществлять контроль за рабочими.

Чтобы решить проблему с устаревшим оборудованием, прогонку имитационной модели цеха можно осуществить с конкретными сборочными узлами, производство которых требует использования высокотехнологичного производственного оборудования. Так же при формировании конечного вида детали будут видны, ее изъяны в качестве. Так, составление модели помогает выявить узкое место в производстве, связанное только с изготовлением конкретных сборочных узлов.

Еще одним примером необходимости внедрения современных технологий в организационный процесс является процесс формирование цехового наряда.

В данный период времени на конкретном предприятии цеховой наряд формируется распределительно-вычислительной группой, в результате чего снижается производительность труда, уменьшаются показатели общей эффективности оборудования. Также были обнаружены ненужные передвижения рабочих и составлена комплексная схема фактических перемещений персонала.

Помимо этого, был рассмотрен текущий план производства предприятия, в результате чего были выявлены действия, уменьшающие показатели общей эффективности оборудования (OEE).

Действия, снижающие эффективность процесса формирования цеховых нарядов и уменьшающие показатели общей эффективности оборудования сформулированы в таблице 2:

Таблица 2.

Действия, снижающие эффективность процесса формирования цеховых нарядов и уменьшающие показатели общей эффективности оборудования

№	Виды действий	Состояние
1.	Простой	Из-за несвоевременного заказа деталей возникает простой. Не могут выполнить ту или иную операцию.
2.	Неэффективные трудозатраты	Из-за четкого разграничения на зоны получения цехового наряда и рабочего места, находящиеся на дальнем расстоянии друг от друга, возникает необходимость в лишних движениях для получения задания (цеховые наряды формируются и находятся в кабинете распределительно-вычислительной группы, а рабочие места распределены по всему цеху).
3.	Очередь	Из-за отсутствия конкретного времени получения нового цехового наряда, возникает очередь из рабочих, желающий получить новое задание.
4.	Дефект	Дефект возникает из-за отсутствия деталей. Так как конструктор не подготовил документы, мастер не смог сделать заявку вовремя, поэтому диспетчер ПДБ не заказал детали.

Изучив причины появления действий, снижающих производительных труда, были разработаны рекомендации по их устранению:

1. Для устранения действия «ожидание поставки комплектующих на участок» необходимо применить информационную систему, позволяющую спланировать производство.

Система позволит формировать сменно-суточные задания с учетом актуальных данных текущего плана производства в механическом цехе. С помощью данного метода производство будет осуществляться в соответствии со следующим правилом: участок снабжается комплектующими в конкретном количестве и к четко определенному сроку, необходимому для выполнения некоторой операции.

2. Для устранения действия «неэффективные трудозатраты» необходимо использовать станки с числовым программным управлением (ЧПУ), с помощью которых появляется возможность распечатать сформированный наряд прямо на рабочем месте, используя информационную систему, позволяющую спланировать производство.

Для использования данного метода необходимо снабдить каждое рабочее место принтером.

3. Для устранения очередей в кабинете распределительно-вычислительной группы, необходимо также использовать станки с числовым программным управлением (ЧПУ), позволяющие распечатать сформированный наряд прямо на рабочем месте, используя информационную систему, позволяющую спланировать производство.

Данный метод позволит снизить до минимума процесс получения сменно-суточных заданий.

4. Для устранения дефекта 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», то есть на участок механического цеха приходит контролер.

В результате внедрения информационной системы с использованием станков с ЧПУ показатель общей эффективности оборудования увеличится на 34%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Голубев А.А.* Экономика и управление инновационной деятельностью: Учебное пособие // СПбГУ ИТМО, 2012. С. 119.

2. *Минко И.С.* Бизнес-планирование инновационных проектов: Учебное пособие // СПб: НИУ ИТМО, ИХиБТ, 2014. С. 171.

3. *Шипилов А.Г.* Организационно-экономическое обеспечение роста производства предприятий радиоэлектронной промышленности на основе модернизации // Автореферат диссертации кандидата экономических наук, Нижний Новгород, 2013. С. 21.

INTEGRATION OF TECHNOLOGIES AND STRATEGIES OF THE ENTERPRISE AS AN ORGANIZATIONAL AND MANAGEMENT COMPONENTS TO IMPROVE THE COMPETITIVENESS OF SCIENTIFIC PRODUCTION

Mitrofanova Daria, Ovchinnikov Aleksei
d.mitrofanova.1995@gmail.com, eastonsc6@yandex.ru
Supervisor: Gaziz Mingaleev, Doctor of Economic Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

The article presents the results of the research, reflecting the existence of a gap between the development of technologies and organizational strategies in the enterprise. It is shown that the slow development of strategic market challenges is taking place and there is no readiness to implement strategic objectives. The proposed measures to reduce the gap between technologies and strategies through their integration in order to increase the competitiveness of high-tech production.

УДК 658

ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Трутнева А.А.
pankovaanya@mail.ru
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В данной статье дается краткая оценка ERP-систем на российском рынке и как сделать правильный выбор среди огромного разнообразия информационных систем управления ресурсами для промышленных предприятий.

Развитие производства и промышленности способствует внедрению передовых стандартов управления на предприятиях Российской Федерации. В настоящее время, в условиях роста информационных потоков, правил и регламентов регулирования финансовых и производственных сфер деятельности, форм и видов отчётности делает актуальным использование информационных систем, корпоративных баз данных, офисных приложений в бизнес-процессах предприятия. Одним из таких продуктов являются ERP-системы – это системы планирования ресурсов предприятия, широко распространенные по всему миру и являющиеся мировым стандартом управления на предприятиях.

Термин ERP (Enterprise Resource Planning) впервые появился в 1990 году и стал логическим продолжением концепции MRP (Material Requirement Planning) - планирование производственных ресурсов [1]. Структура развития корпоративных информационных систем представлена на рисунке 1.

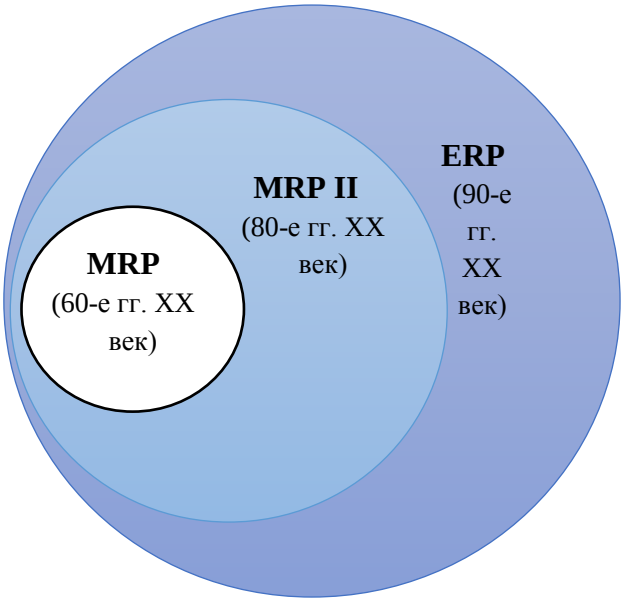


Рис 1. Эволюция корпоративных информационных систем

Со временем MRP-системы охватывали не только производственные бизнес-процессы, но и трудовые ресурсы, финансовый менеджмент, налоговый учет и прочее, охватывая тем самым все предприятие посредством специализированного интегрированного пакета прикладного программного обеспечения, обеспечивающего общую модель данных и процессов для всех сфер деятельности.

Методы или подходы MRP, MRP II и ERP – это формализованная совокупность понятий и процессов, позволяющих создать картину и описание того, как предприятие должно работать.

Теория и практика внедрения ERP-систем в работу российских предприятий отражены в трудах О.М. Островского, Д.В. Чистова, А.В. Короткова, Н.А. Оладова, и многих других ученых. В настоящее время ERP-системы являются конкурентным преимуществом, которое способствует эффективному развитию предприятия в целом и планированию производства в частности. При этом необходимо отметить, что внедрение ERP-систем на каждое конкретное предприятие связано с определенными затратами и требует комплексного подхода, поскольку ERP-системы обладают высокой долей неопределенности, так как отсутствует типовой сценарий перехода предприятия на нее. Как уже было сказано ранее, внедрение в работу предприятия данных систем требует детальной проработки и установления определенных закономерностей, которые ведут к провальному или успешному результату, что подтверждает актуальность данной статьи.

Если говорить о структуре российского рынка ERP-систем, то самыми автоматизированными отраслями являются: производство – это 46%, телекоммуникационные услуги - 12,1%, оптовая торговля 6,8%, добыча и переработка сырья - 6,5%, топливно-энергетический комплекс - 6,5% и прочие виды отраслей - 22,1%.

При выборе ERP-системы для конкретного предприятия необходимо понимать, что ни одна программа не может решить всех проблем, которые существуют в компании. ERP-система - это лишь инструмент, который позволяет повысить эффективность управления предприятием, которая может помочь в принятии стратегических решений руководством на основе обработки достоверной информации и статистической отчетности. ERP-система является одновременно и технологией для бизнеса, и инструментарием [2]. В правильном выборе ERP-системы должно быть заинтересовано руководство компании, поскольку внедрение такой системы – это стратегически важная инвестиция, которая должна рассматриваться руководством компании как долгосрочное вложение денежных средств.

Преимуществами внедрения ERP-системы для организаций являются:

1. Информационная система интегрирована, а значит:

- работа системы заключается в улучшении бизнес-процессов предприятия, оптимизации сырьевых и финансовых потоков исходя из вводимой информации сотрудниками компании;

- она не связана с производственным процессом напрямую, поскольку не является автоматизированной системы управления технологическим процессом, но вместе с тем работает с цифровой моделью технологического процесса;

- весь цикл управления и планирование деятельностью компании осуществляется в одной программе, от закупки материалов до отгрузки готовой продукции потребителю;

- ввод информации в систему происходит только единожды и локально в том подразделении, в котором появляется; сама информация хранится в единой базе данных и может быть использована по запросам многократно всеми заинтересованными структурными подразделениями предприятия.

Следовательно, система класса ERP может повысить согласованность работы всех подразделений предприятия, устранить проблему взаимосвязи различных программных продуктов, снизить прямые и косвенные издержки. ERP-система является инструментом для роста эффективности управления и принятия грамотных стратегических решений.

2. Применение ERP-системы повышает конкурентоспособность предприятия, поскольку при ее внедрении оптимизируются бизнес-процессы, сокращаются затраты. Такие системы как ERP, в свое время создавались как инструмент управления себестоимостью выпускаемых товаров и достижения преимуществ перед конкурентами, что дает возможность управлять и планировать с помощью методов, которые позволяют:

- оперативно преобразовывать число запасов, ликвидировать их нехватку или переизбыток, предотвращать наличие больших остатков на складах, и, как следствие, сокращать складские затраты;

- сократить издержки и время, которое затрачивается на производство продукции;

- уменьшить объем незавершенного производства в конкретном периоде с помощью планирования на основе спроса потребителей на конечную продукцию, при этом производство осуществляется точно в срок, исходя из длительности выполнения заказа;

- гибко реагировать на спрос на товары и услуги ввиду сокращения цикла производства и времени выполнения заказа;

- быстро проводить оценку, возможно ли осуществление поступившего заказа в срок, с точки зрения имеющихся человеческих и сырьевых ресурсов;

- быстро отслеживать производительность производственных линий на основе фактических данных, проводить сравнительный анализ фактической производительности с плановой, быстро внося коррективы в производственный процесс;

- повысить качество обслуживания клиентов и партнеров за счет исполнения поставок точно в срок [3].

Выбрать единственный вариант ERP системы не предоставляется возможным, так как необходимо учитывать множество взаимосвязанных факторов, влияние которых друг на друга весьма неоднозначно. Только проведение всестороннего анализа и оценка возможностей каждого конкретного продукта в совокупности с потребностями каждого конкретного бизнеса сможет позволить выбрать наиболее подходящий и эффективный инструмент для управления на предприятии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Трутнев В.В.* Методика оценки потенциала ресурсосбережения на промышленных предприятиях // Сегодня и завтра Российской экономики. 2011. №49. С. 120-123.

2. *Трутнев В.В., Алешина Н.И., Кашапова А.Ф., Гатауллина А.И., Галимова А.И.* Управление экономикой качества // Вопросы науки и образования. 2017. №5 (6). С. 61-63.

3. Ильин В.В. Внедрение ERP-систем: управление экономической эффективностью. 2016. С. 296.

PROBLEMS OF CHOICE OF INFORMATION RESOURCE MANAGEMENT SYSTEMS AT INDUSTRIAL ENTERPRISE

Trutneva A.
pankovaanya@mail.ru
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

This article provides a brief assessment of ERP systems in the Russian market and how to make the right choice among a huge variety of resource management information systems for industrial enterprises.

СЕКЦИЯ 3

ТЕПЛОТЕХНИКА, ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

ПОДСЕКЦИЯ 3.1

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ И ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

УДК 629.12.03-714.001.24

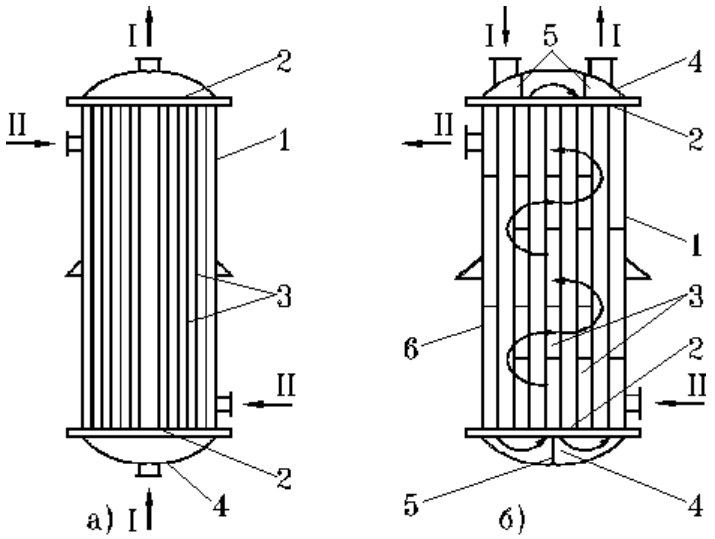
АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИКИ В СУДОВЫХ ОХЛАДИТЕЛЯХ МАСЛА И ВОДЫ

Аблаев А.Р.
alim_ablaev@mail.ru
(Севастопольский государственный университет, г. Севастополь)

В статье представлен анализ существующих зависимостей, описывающих процессы гидродинамики в судовых охладителях. На основе анализа, предложены зависимости по расчету гидравлических сопротивлений, учитывающие особенности конструкции судовых кожухотрубчатых охладителей.

Гидравлический расчет теплообменных аппаратов является неотъемлемой частью его проектирования, так как на его основе определяется гидравлическое сопротивление проточных частей аппарата. Как известно, перепад давления рабочих жидкостей по обеим полостям является важным параметром теплообменного аппарата.

В трубной полости расчет гидравлических сопротивлений производится по формулам, широко известным из литературы, либо по эмпирическим (полуэмпирическим) зависимостям, рекомендованным в отраслевых нормативных документах. Схема трубной и межтрубной полости судового теплообменного аппарата (СТА) представлена на рисунке 1.



1 - корпус (обечайка); 2 - трубные решетки; 3 - трубы; 4 - крышки;
5 - перегородки в крышках; 6 - перегородки в межтрубном пространстве.
Рис. 1. Кожухотрубчатые одноходовой а) и многоходовой б) теплообменники

Рассмотрим основные расчетные уравнения. Общая потеря напора равна:

$$\Delta P = \Delta P_{тр} + \Delta P_{мес}$$

где $\Delta P_{тр}$ – сопротивление трения; $\Delta P_{мес}$ – местное сопротивление.

Потери давления на преодоление сил трения в случае безотрывного течения в трубах определяются по общеизвестной формуле:

$$\Delta P_{тр} = \left(\lambda_{тр} \frac{l}{d_в} + \xi' \right) \frac{\rho w^2}{2}$$

где ξ' – учитывает влияние гидродинамического начального участка.

При наличии успокоительного участка перед входом в трубу ξ'=0. Для труб судовых охладителей ξ'=0,8.

Коэффициент сопротивления трения $\lambda_{тр}$ зависит от многих факторов: режима движения, теплофизических свойств теплоносителя, состояния поверхности, направления теплового

потока и др.

Существует большое количество расчетных формул для определения $\lambda_{тр}$. Рассмотрим те, которые нашли широкое применение в расчетной практике.

Практически трубы могут быть как гладкими, так и шероховатыми. При этом шероховатость может быть равномерной (равномерно-зернистой) и неравномерной. Оба вида шероховатости различают по форме бугорков, их размерам и т.д.

В случае шероховатости поверхности стенок трубы коэффициент сопротивления, как показал опыт, зависит не только от числа Re, но и от относительной шероховатости

$$\overline{\Delta} = \frac{\Delta}{d_э},$$

где Δ – средняя высота бугорков на поверхности; $d_э$ – гидравлический диаметр.

Для критической области стабилизированного течения ($\mathrm{Re} = 2000 \div 4000$) коэффициент сопротивления с гидравлическими (технически) гладкими трубами можно определить по формуле

$$\lambda_{тр} = 0{,}0173 + 7{,}3 \cdot 10^{-6} \cdot \mathrm{Re}. \qquad (1)$$

Формула (1) аппроксимирована из графика (б) диаграммы 2.1 [1].

Для области чисто турбулентного стабилизированного течения ($\mathrm{Re} > 4000$) коэффициент $\lambda_{тр}$ с гидравлически (технически) гладкими стенками вычисляют по формуле

$$\lambda_{тр} = \frac{1}{(1{,}82 \lg \mathrm{Re} - 1{,}64)^2}.$$

Коэффициент $\lambda_{тр}$ для труб с равномерно-зернистой шероховатостью при стабилизированном течении в переходной области, т.е. в пределах

$$\frac{26{,}9}{\overline{\Delta}^{1{,}143}} \le \mathrm{Re} \le \frac{217 - 382 \lg \overline{\Delta}}{\overline{\Delta}}$$

определяют по формуле Никурадзе [1].

Коэффициент сопротивления трения всех технических труб при стабилизированном течении на режиме $\mathrm{Re} > 4000$ определяется по формуле Кольбрука-Уайта:

$$\lambda_{тр} = \frac{1}{\left[2 \lg\left(\frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}} + \frac{\overline{\Delta}}{3{,}7}\right)\right]^2}.$$

Для инженерных расчетов по приближенной формуле Альтшуля:

$$\lambda_{тр} = 0{,}11\left(\overline{\Delta} + \frac{68}{\mathrm{Re}}\right)^{0{,}25}.$$

Коэффициент $\lambda_{тр}$ для стабилизированного течения с любым видом шероховатости в квадратичной области, т.е. при $\mathrm{Re} > \frac{500}{\overline{\Delta}}$ находится по формуле Прандтля-Никурадзе

$$\lambda_{тр} = \frac{1}{\left(2 \lg \cdot \frac{3{,}7}{\overline{\Delta}}\right)^2}.$$

Расчет гидравлического сопротивления межтрубной полости

Общее гидравлическое сопротивление межтрубной полости в кожухотрубчатом аппарате с сегментными перегородками определяется по формуле

$$\Delta P_{общ.} = \xi_1 \frac{\rho \cdot W_n^2}{2} y + \xi_2 \frac{\rho \cdot W_{пер}^2}{2} n + \xi_3 \frac{\rho \cdot W_{нам}^2}{2},$$

где ξ_1 – коэффициент сопротивления пучков труб; ξ_2 – коэффициент сопротивления при огибании поперечных перегородок $\xi_2 = 1{,}5$ [2, 3, 4]; ξ_3 – коэффициент сопротивления патрубков входа и выхода $\xi_3 = 2{,}2$ пользуясь [1]; $W_n, W_{пер}, W_{пат}$ – скорость в пучке, над перегородкой, в патрубках соответственно, м/с; y, n – число поперечно обтекаемых труб, число перегородок соответственно.

Основной трудностью при расчете гидравлического сопротивления является определение ξ_1. Значение коэффициентов сопротивления пучков труб зависит от количества рядов и распределения труб, а также от числа Рейнольдса.

В [1] представлены формулы для расчета коэффициента сопротивления гладкотрубного шахматного пучка при $3 \cdot 10^3 < \mathrm{Re}_{ср} < 10^5$.

Гидравлическое сопротивление в межтрубной полости по методу Белла [5] определяется

$$P_н^{ид} = 2\Delta P_к + (N_в - 1)\Delta P_н + N_в \cdot \Delta P_е .$$

В то же время перепад давления в концевых элементах равен сумме потерь давления, вызванных сопротивлением тех рядов труб пучка, которые находятся между срезами двух соседних перегородок, и потерь давления, вызванных сопротивлением тех рядов труб, которые проходят в площади выреза перегородок:

$$\Delta P_к = \Delta P_п + \Delta P_н . \tag{3}$$

Можно предположить, что сопротивление пучка при поперечном обтекании пропорционально числу рядов труб, тогда:

$$\frac{\Delta P_п}{\Delta P_н} = \frac{y_п}{y_с} \tag{4}$$

С учетом формулы (3) формула (4) принимает вид:

$$\Delta P_к = \Delta P_П \left(1 + \frac{y_с}{y_п}\right). \tag{5}$$

Объединяя (3) и (5), имеем:

$$\Delta P_н^{ид} = 2\Delta P_п \left(1 + \frac{y_с}{y_п}\right) + (N_в - 1)\Delta P_п + N_в \Delta P_с . \tag{6}$$

Потери давления при поперечном обтекании пучка определяются по формуле:

$$\Delta P_п = \frac{2\xi \cdot \varepsilon_{\Delta p} \cdot w^2 \cdot y_п}{\rho \cdot g} \left(\mu_* \big/ \mu_{ст}\right)^{-0{,}14} . \tag{7}$$

В формулу (7) входит поправочный коэффициент $\varepsilon_{\Delta p}$, учитывающий влияние байпасного зазора

$$\varepsilon_{\Delta p} = \frac{\Delta P_п}{\Delta P'_н} = \exp(-m) ,$$

$$m = i \cdot a \left[1 - \sqrt[3]{\frac{2N_г}{N_п}}\right]. \tag{8}$$

При $\mathrm{Re} < 100$ $\quad a = 4{,}5$

$\mathrm{Re} > 100$ $\quad a = 3{,}8$

Величина i представляет собой долю площади байпасного зазора в общей площади узкого сечения:

$$i = \frac{f_б}{f_п} .$$

Третий сомножитель в (8) учитывает влияние герметизирующих полос на перепад

давления. Данные полосы устанавливаются в межтрубной зоне аппаратов с целью устранения протечек теплоносителя через байпасный зазор.

В [6] было проведено исследование влияния протечек через зазоры отверстия перегородки – трубы и корпус – перегородка. Показано, что протечки через зазор корпус – перегородка оказывают большее влияние на потери давления, чем протечки через зазор отверстия перегородки – трубы.

В работе [7] приводится значение числа Эйлера для судовых охладителей масла с трубами $d_н = 10$ мм с поперечным шагом 13,5 мм (разбивка теплообменных труб по равностороннему треугольнику):

$$Eu = 17{,}5\,\mathrm{Re}^{-0{,}535}. \qquad (9)$$

Относительная средняя погрешность выражения (9) составляет ±15% и она применима только для охладителей масла с трубами 10 мм, т.е. имеет узкий диапазон приложения.

Общие методические указания по расчету гидравлического сопротивления межтрубной полости приведены в [1, 3, 4, 8, 9, 10] и др. Как видно из анализа, недостатки исходных формул для гидравлического расчета аналогичны перечисленным недостаткам для теплового расчета:

- не учитывается влияние различных протечек теплоносителя через зазоры в межтрубной зоне, имеющие место в реальных аппаратах;
- выбранные математические модели расчета имеют большую погрешность;
- не строго учитываются потери давления при входе потока в камеру и выходе из неё, при поворотах потока;
- используемые коэффициенты сопротивления принимаются постоянными, что не отражает реальные геометрические формы и размеры элементов аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Идельчик И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям/ И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

2. *Андреев В.А.* Теплообменные аппараты для вязких жидкостей/ В.А. Андреев. – М. –Л.: Госэнергоиздат, 1971. – 174 с.

3. *Копачинский П.А.* Судовые охладители и подогреватели жидкостей/ П.А. Копачинский, В.П. Тараскин. –Л.: Судостроение, 1968. – 244 с.

4. *Цыганков А.С.* Расчеты судовых теплообменных аппаратов/ А.С. Цыганков. Л.: 1956. – 264 с.

5. *Bell K.J.* Final Report of the Cooperative Research Program on Shell-and-Tube Heat Exchangers/ K.J. Bell // University of Delaware Eng. Exp. Sta. Bull. 5, 1963.

6. *Bell K.J.* Petrochem/ K.J. Bell // Eng. October, 1960. – P. 166-175.

7. *Макаров В.В.* Теплогидродинамический расчет кожухотрубчатых теплообменников с распределенными параметрами/ В.В. Макаров // Математическое моделирование и системный анализ теплообменного оборудования. Киев: Наукова думка, 1978. – С. 94-98.

8. *Баев С.Ф.* Судовые компактные теплообменные аппараты/ С.Ф. Баев. – Л.: Судостроение, 1965. – 240 с.

9. *Гремилов Д.И.* Исследование теплоотдачи методом теплообменника/ Д.И. Гремилов. – Минск, 1963. – 11 с.

10. *Казакевич В.П.* Исследование теплоотдачи пучков труб при разных углах атаки газового потока/ В.П. Казакевич // Теплоэнергетика, 1954., №8. – С. 42-44.

ANALYSIS OF HYDRODYNAMIC PROCESSES IN SHIP COOLERS OF OIL AND WATER

Ablaev A.
alim_ablaev@mail.ru
(Sevastopol State University, Sevastopol)

The article presents an analysis of the existing dependencies describing the processes of hydrodynamics in ship coolers. Based on the analysis, the proposed dependencies on the calculation of hydraulic resistance, taking into account the design features of the ship's shell-and-tube chillers.

УДК 536.24

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ И СМАЧИВАЕМОСТИ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ТЕПЛООТДАЧУ И КРИТИЧЕСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ

Аксянов Р.А., Коханова Ю.С.
raaksyanov@kai.ru
Научный руководитель: И.А. Попов, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Представлены результаты экспериментального исследования влияния статического и динамического углов смачивания на интенсификацию теплоотдачи и критические тепловые потоки при кипении на поверхностях с микроструктурой. Даны рекомендации по выбору эффективных поверхностей кипения.

Для создания систем охлаждения к современным теплообменным поверхностям для кипения предъявляется ряд требований. Основное из них – отвод больших тепловых потоков при относительно низких разностях температур стенки и жидкости. Для этого требуется проанализировать и обеспечить начало пузырькового кипения при меньших разностях температур между горячей стенкой и жидкостью; более высокие коэффициенты теплоотдачи при заданной разности температур стенки и жидкости; увеличение критического теплового потока, который идентифицирует начало кризиса кипения. Специальной обработкой поверхности (механическая обработка, формование или нанесение покрытий) можно создать открытые полости (полузакрытые выемки), которые «захватывают» пузырьки пара на поверхности и способствуют дальнейшему парообразованию в жидкостях с малыми силами поверхностного натяжения.

Целью работы являлось провести экспериментальное исследование статического и динамического угла смачивания водой гладкой и микроструктурированных поверхностей с различной микроструктурой поверхности, полученных методом деформирующего резания и различными геометрическими параметрами; установить взаимосвязь статических и динамических углов смачивания микроструктуры от геометрических параметров поверхности и описать взаимосвязь теплоотдачи и критических тепловых потоков на поверхностях кипения различной структуры, полученных методами деформирующего резания, от статических и динамических углов смачиваемости.

Смачивание характеризует физическое взаимодействие жидкости с поверхностью твёрдого тела или другой жидкости. Смачивание зависит от соотношения между силами сцепления молекул жидкости с молекулами (или атомами) смачиваемого тела (адгезия) и силами взаимного сцепления молекул жидкости (когезия). Смачивающая способность жидкости характеризуется краевым углом θ, обычно измеряемый методом лежащей капли и образованным между стенкой и свободной поверхностью жидкости. Величина угла зависит от свойств поверхности раздела жидкость-металл. Если жидкость контактирует с твёрдым телом, то существуют две возможности:

1. молекулы жидкости притягиваются друг к другу сильнее, чем к молекулам твёрдого тела. В результате силы притяжения между молекулами жидкости собирают её в капельку. В этом случае θ>90° и говорят, что жидкость не смачивает поверхность (рис.1а);
2. молекулы жидкости притягиваются друг к другу слабее, чем к молекулам твёрдого тела. В результате жидкость стремится прижаться к поверхности, расплывается по ней. В этом случае θ<90° и говорят, что жидкость смачивает поверхность (рис.1б).

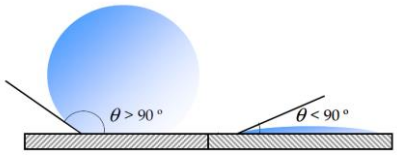


Рис.1. Капли воды на поверхностях с различной смачиваемостью:
а - жидкость не смачивает поверхность; б - жидкость смачивает поверхность

Существующие физические модели зарождения паровых пузырей на твердой поверхности показывают значительное влияние краевого угла смачивания для различных пар жидкость-охлаждаемая стенка. При кипении условия смачивания жидкостью твердой поверхности изменяются из-за образования накипи или оксидной пленки на охлаждаемой стенке или из-за нанесения специальных покрытий в виде точек или сплошной пленки. Как правило, изменение условий смачивания приводит к интенсификации теплообмена при кипении. Величина поверхностного натяжения имеет решающее значение для смачиваемости поверхности и для характера образующихся пузырьков. Если жидкость обладает большой склонностью к смачиванию поверхности нагрева, то пузырьки пара теснятся на поверхности нагрева и легко от нее отрываются; наоборот, если жидкость не проявляет склонности к смачиванию поверхности, то пузырек пара растягивается по поверхности и отрывается от нее только при значительном увеличении в объеме. Пузырьки пара в этом случае затрудняют переход тепла от поверхности нагрева к жидкости, так как тепловое сопротивление пара велико.

Коэффициент теплоотдачи при кипении зависит от шероховатости (способа обработки) поверхности нагрева.

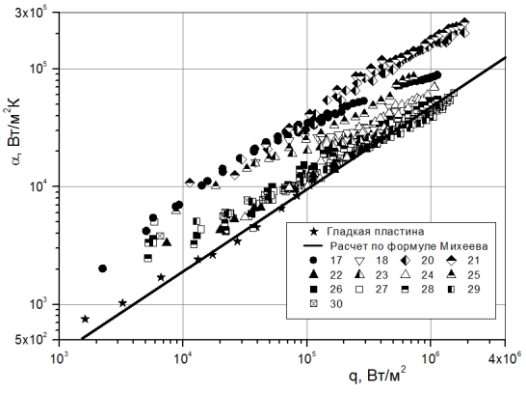


Рис.2. Зависимость теплоотдачи при кипении воды от плотности теплового потока (обозначения соответствуют [3] представлены в табл.2)

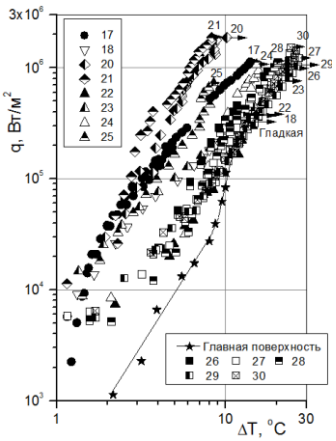


Рис.3. Критические тепловые потоки при кипении воды для различных структур микрошероховатых поверхностей (обозначения см. рис.1)

В работах [1-3] для кипения дистиллированной воды при атмосферном давлении и тепловых потоках от 10 до 3500 кВт/м^2, представленных на рис.2 и 3, показано, что наибольшие коэффициенты теплоотдачи наблюдаются на поверхностях №17, 20 и 21, имеющих трехмерную структуру микроребер. Интенсификация теплоотдачи при развитом пузырьковом кипении составила до 3÷5 раз. Результаты исследований по визуализации процесса кипения, проведенной в [2] и в данной работе, показывают, что для данных поверхностей имеют место меньшие диаметры отрывных паровых пузырей, большее их

количество и более высокая частота отрыва, особенно при низких температурных напорах. Это объясняется большим количеством центров парообразования и ограничением роста объема пузырька на прерывистой поверхности трехмерного ребра. Кипение на данных поверхностях возникает при значительно меньших (до 5 раз) перегревах стенки. Также, как в [1], отмечается, что на поверхностях №18,19,22-27,30 с двухмерными ребрами независимо от микроструктуры вершины ребра (прямые, загнутые, с микроштырьками), интенсификация теплоотдачи при развитом пузырьковом кипении составила 1.2÷1.4 раза.

Таблица 1

Параметры исследованных поверхностей кипения, полученных методом деформирующего резания

№	материал	$h\cdot10^6$, м	$w\cdot10^6$, м	□·10^6, м	□□ □°	$u\cdot10^6$, м	$s\cdot10^6$, м	$m\cdot10^6$, м	$z\cdot10^6$, м	$n\cdot10^6$, м	$k\cdot10^6$, м
17	AISI1020	420	350	145	20	120	320	0	0	0	205
18	316L	300	70	26	7	0	0	0	0	0	10
19	ВТ1-0	550	250	150	10	0	0	0	0	0	100
20	AISI1020	570	350	140	10	180	320	0	0	20	210
21	AISI1020	480	240	105	20	120	320	50	100	50	135
22	ВТ1-0	300	250	140	0	0	0	0	0	0	110
23	ВТ1-0	360	200	115	25	0	0	0	0	0	85
24	ВТ1-0	360	200	115	25	0	0	15	95	30	85
25	ВТ1-0	200	100	65	7	0	0	0	0	0	10
26	316L	500	400	200	10	0	0	0	0	0	200
27	316L	400	400	200	10	0	0	0	0	0	100
28	316L	400	400	200	10	300	600	0	0	0	100
29	316L	400	400	200	7	300	600	20	50	10	100
30	ВТ1-0	500	400	200	10	0	0	0	0	0	200

* нумерация продолжает обозначение образцов поверхностей, исследованных в [3]

В исследованном диапазоне режимных параметров наибольшие критические тепловые потоки получены для поверхностей №20 и 21 (рис.6), имеющих трехмерную структуру. Увеличение критических тепловых потоков составило 6 раз по сравнению с гладкой поверхностью. Сопоставляя результаты данной работы и [2], можно сделать вывод, что наиболее рациональны структуры с высотой трехмерных выступов порядка 250÷340 мкм. Увеличение критических тепловых потоков для данных поверхностей объясняется затеканием жидкости за счет капиллярных сил через дополнительные зазоры шириной u=120÷180 мкм под образующиеся паровые пленки, по сравнению с двухмерными поверхностями. Увеличение ширины зазора до 300 мкм приводит к уменьшению плотности теплового потока, как показано для поверхности №29.

Для определения угла смачиваемости использовался круговой метод. Перед проведением опытов поверхности кипения обезжиривались. Рабочая жидкость (вода) помещалась в дозирующее устройство в виде шприца. Иголка шприца осторожно касалась поверхности. Выверенным движением на поверхность сажалась капля жидкости (рис.5). Фиксирование капли и ее поведения осуществлялись с помощью видеосъемки на высокоскоростную видеокамеру Photron SA4. Примеры результатов фиксации изображений капли и ее изменение во времени показаны в таблицах 2.

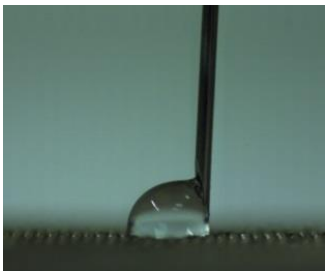


Рис.5. Формирование капли с помощью дозирующего устройства

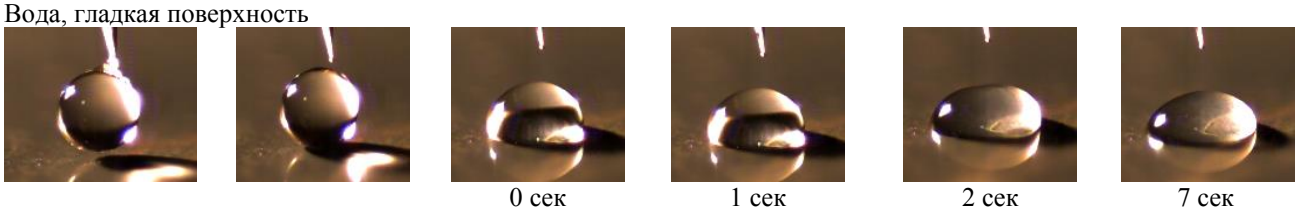
Определение угла смачиваемости производилось на основе анализа видеоизображения с использованием кругового метода (рис.6). Стадии расчета угла контакта круговым методом: захват и сохранение изображения с упавшей каплей; распознавание базовой линии; выбор трех точек на краю криволинейного профиля капли; построение дуги окружности по трем точкам и касательной к ней в точке пересечения дуги с базовой линией; угол смачивания находился как угол между касательной и базовой линией. Данный метод является наиболее распространенным при вычислении угла контакта.

Видно, что наличие шероховатости позволяет повысить смачиваемость поверхности за счет быстрого растекания капли под действием каппилярных сил. На рис. 7 показана зависимость угла смачиваемости от высоты элементов микроструктурированной поверхности. Видно, что максимальные значения на гладкой поверхности. С ростом высоты элементов микрошероховатости с 0 до 360-400 мкм угол смачиваемости уменьшается с 106° до 69°. При дальнейшем росте высоты микрошероховатости наблюдается повышение углов смачиваемости, которые при высоте шероховатости 570 мкм составляют 88°.

Таблица 2

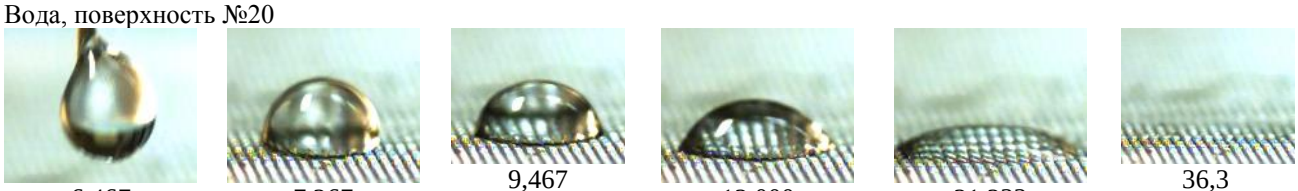
Пример изменения угла смачиваемости водой поверхностей из нержавеющей стали

Вода, гладкая поверхность

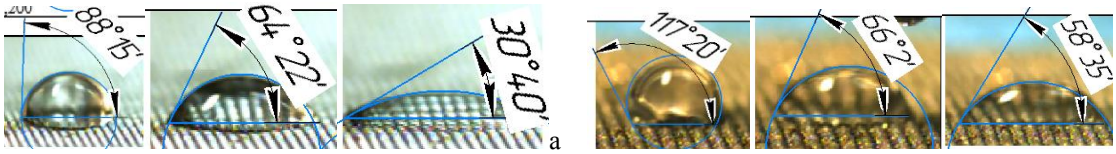


0 сек 1 сек 2 сек 7 сек

Вода, поверхность №20



6,467 7,267 9,467 12,000 21,233 36,3



а б

Рис. 6. Измерения углов смачиваемости на поверхностях в различные моменты времени

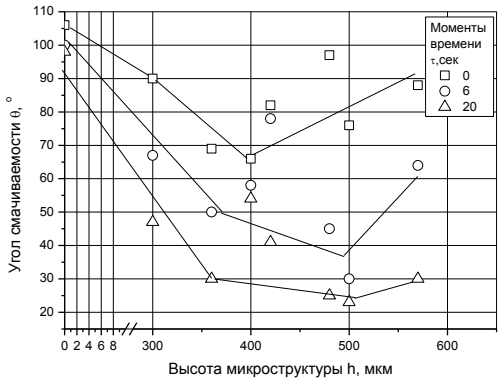


Рис. 7. Зависимость угла смачиваемости от высоты элементов шероховатости h

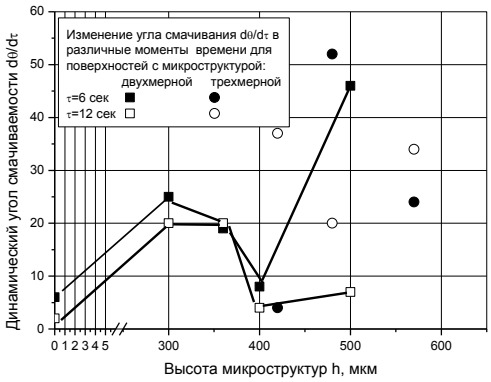


Рис.8. Зависимость изменения угла смачиваемости во времени dΘ от высоты элементов шероховатости h

Для поверхностей с трехмерных структурой шероховатости быстрое растекание капли воды производится во всех направлениях, а для поверхностей с двухмерной структурой шероховатости – в основном по направлению микроребер. Однако анализ показал, что угол смачиваемости на исследованных поверхностях достаточно быстро меняется во времени. Происходит стремительное растекание капли воды на микроструктурированной поверхности за счет капиллярного эффекта. Для информации - расстояние между элементами шероховатости – 40-100 мкм, высота шероховатости 280-570 мкм, постоянная Лапласа (смачиваемости) для воды в нормальных условиях. около 3 мм. Поэтому проведен анализ изменения угла смачиваемости во времени dθ/dτ (динамическолго угла смачиваемости) от размеров шероховатости, представленный на рис. 8. Видим, что с течением времени угол смачиваемости уменьшается. Причем для гладкой поверхности уменьшение угла смачиваемости в течение первых 20 сек изменяется не более, чем на 8°, в то время как для шероховатых – 20-50°. Анализ изменения динамического угла смачиваемости показал, что увеличение высоты элементов шероховатости приводит к значительному изменению угла смачиваемости в меньшую сторону.

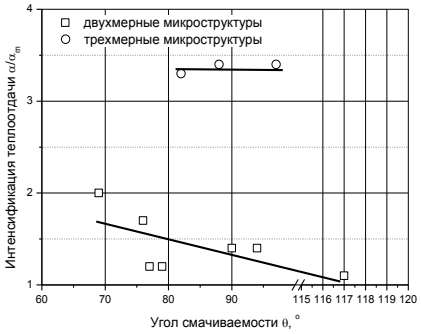


Рис. 9. Зависимость интенсификации теплоотдачи α/αгл от угла смачиваемости

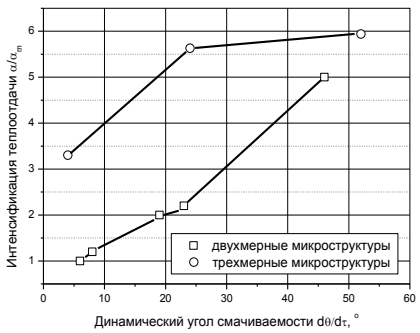


Рис. 10. Влияние изменения угла смачиваемости на интенсификацию теплоотдачи $\alpha/\alpha_{гл}$

При углах смачиваемости θ в диапазоне 79°-117° коэффициенты теплоотдачи шероховатых поверхностей с 2D структурой выступов (ребра) по сравнению с гладкой возрастают до 1,5 раз, согласно данным [15], приведенным на рис.2. Влияние угла смачиваемости на повышение коэффициента теплоотдачи показано на рис. 9. Однако при малых углах смачиваемости (77°-79°) увеличение коэффициентов теплоотдачи выше. С уменьшением угла смачиваемости интенсификация теплоотдачи повышается и достигает 1,5-2 раза. При углах смачиваемости в диапазоне 79°-117° коэффициенты теплоотдачи шероховатых поверхностей с 3D структурой выступов (штырьки) по сравнению с гладкой

возрастают до 3,4 раз. В данном диапазоне углов смачиваемости уровень интенсификации теплоотдачи практически постоянен.

Анализ динамического угла смачиваемости $d\theta/d\tau$ (рис.10) также показал, что при увеличении изменения угла смачиваемости интенсификация теплоотдачи сначала падает до значения 1 при $d\theta/d\tau = 6°$, а затем возрастатет до 6 при $d\theta/d\tau = 52°$.В литературе упоминается, что рост угла смачиваемости θ на гладких поверхностях приводит к росту критических тепловых потоков. На рис. 11 показано изменение критического теплового потока на микроструктурированных поверхностях в зависимости от угла смачиваемости θ. Видно, что даже с ростом угла смачиваемости увеличение критических тепловых потоков остается примерно постоянным. При углах смачиваемости 82°-117° наблюдаются резкие скачки, большой разброс значений в этой области обуславливается стохастическим характером процесса кипения. Подобный анализ проведен и для динамического угла смачиваемости, представленном на рис. 12. С ростом изменения угла смачиваемости наблюдается повышение критических тепловых потоков. Для динамических углов смачиваемости до 23° повышение критических тепловых потоков составляло 3 раза, а при углах смачиваемости более 24° – до 6 раз. Имеющиеся значительные отклонения от данных значений связаны со сложной стохастической картиной кипения, а также возникновения и развития кризиса кипения. Но однозначно можно утверждать, что в исследованном диапазоне изменения геометрических параметров микроструктурированных поверхностей, вне зависимости от структуры поверхности, и углов смачиваемости этих поверхностей наблюдается повышение критических тепловых потоков. Однако анализ данных по динамическому углу смачиваемости (изменению угла смачиваемости во времени) показал, что разброс данных по критическим тепловым потокам упорядочивается.

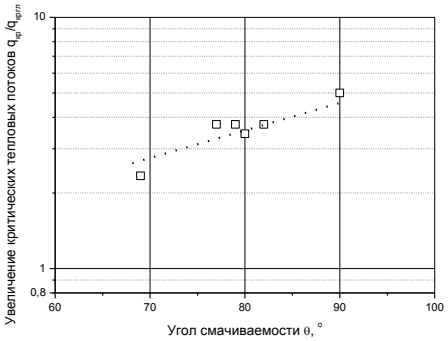


Рис. 11. Влияние угла смачиваемости на увеличение критических тепловых потоков $q_{кр}/q_{кр0}$

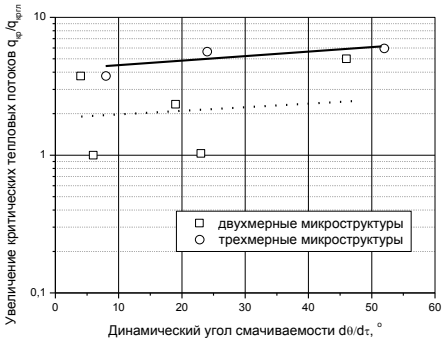


Рис. 12. Влияние изменения угла смачиваемости на увеличение критических тепловых потоков $q_{кр}/q_{кргл}$

Анализ полученных данных подтвердил ранее полученные в [1-3] результаты экспериментальных исследований. Наиболее рациональными для интенсификации теплоотдачи являются поверхности, полученные методом деформирующего резания, со структурой поверхности в виде трехмерных микроребер. В диапазоне высот микроребер h=340÷570 мкм, продольных шагов микроребер w=240÷400 мкм, шагов просечки ребер s=320 мкм выявить рациональные размеры для максимальной интенсификации теплоотдачи выявить не удалось. Стоит отметить, что при данных размерах микроребер зазор u не должен превышать значения u=120÷180 мкм. Его увеличение, например, до u=300мкм, приводит к значительному падению интенсивности теплоотдачи (до уровня двухмерного оребрения).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Popov I. A., Zubkov N. N., Kas'kov S. I., Shchelchkov A. V.* Heat Transfer during the Boiling of Liquid on Microstructured Surfaces. Part 1: Heat Transfer during the Boiling of Water // Thermal Engineering. 2013. V. 60. № 3, P. 157.

2. *Popov I. A., Zubkov N. N., Kas'kov S. I., Shchelchkov A. V.* Heat Transfer during the Boiling

of Liquid on Microstructured Surfaces. Part 2: Visualization of Boiling and Critical Heat Fluxes // Thermal Engineering. 2013. V. 60. № 4. P. 285.

3. *Popov I. A., Zubkov N. N., Gortyshov Yu.F., Shchelchkov A. V.* Heat transfer enhancement and critical heat fluxes in boiling of microfinned surfaces (Review). High TemperatureVolume 55, Issue 4, 1 July 2017, Pages 524-534

INFLUENCE OF ROUGHNESS PARAMETERS AND WETTABILITY OF MICROSTRUCTURED SURFACES ON HEAT TRANSFER AND CRITICAL HEAT FLUX

Aksyanov R., Kokhanova Yu.
raaksyanov@kai.ru
Scientific supervisor: I. Popov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The results of an experimental study of the influence of static and dynamic wetting angles on the intensification of heat transfer and critical heat fluxes in boiling on surfaces with microstructure are Presented. Recommendations on the choice of effective boiling surfaces are given.

УДК 629.78:621.454.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ПОВЫШЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Алтунин К.В., Калимуллин Р.Р., Зырянов С.П.
rrkalimullin@kai.r
Научный руководитель: В.А. Алтунин, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Проведён анализ систем терморегуляции космических летательных аппаратов (КЛА). Разработана классификация существующих методов и способов регулирования и стабилизации температуры внутри КЛА (орбитальной космической станции (ОКС), воздушно-космического самолёта (ВКС), космического спутника (КС)) и на его наружной поверхности. Показаны проблемы нагрева и охлаждения КЛА в ходе орбитального полёта. Разработаны и запатентованы новые конструктивные схемы КЛА повышенных характеристик.

Развитие космонавтики не стоит на месте. Особенности температурного режима в космическом пространстве обязывает учёных и конструкторов проводить обширную и всестороннюю работу по обеспечению КЛА необходимой термостабилизацией. Кроме того, современная военно-политическая обстановка в мире, связанная с агрессивностью некоторых стран, с международным терроризмом и локальными религиозными и экономическими войнами, обязывает обращать внимание и на защиту КЛА не только от ожидаемых и регулярно-циклических изменений тепловых режимов в космосе, но и от тепловых ударов, например, от лазерного оружия, которое могут применить как военные, так и террористы (примеры в гражданской авиации уже существуют).

В докладе проводится анализ существующих систем терморегуляции и тепловой защиты КЛА: внутри КЛА (в обитаемом отсеке (для ОКС, ВКС), в приборном отсеке, в грузовом отсеке, в отсеке с двигательными установками, в отсеках с горючим и окислителем); снаружи КЛА (на наружных стенках КЛА, включая баки горючего и окислителя; на антеннах – излучателях.

Из научно-технической литературы известно [1-17], что нагрев корпусов КЛА на различных околоземных орбитах может достигать:

на солнце: до +160°С (433 К);

в тени: до - 160°С (113 К).

Нагрев корпусов КЛА на поверхности Луны:
на солнце: до +120°С (393 К);

в тени: до - 170°С (103 К).

Нагрев корпусов КЛА реально на МКС:
на солнце: до +150°С (423 К);

в тени: до - 150°С (123 К).

Отдельно рассмотрены системы защиты КЛА от тепловых ударов.

Современные и перспективные КЛА могут ощущать на себе тепловые удары в следующих ситуациях [1-16]:

а) при прицеливании лазерного оружия (лазерного луча) на корпус КЛА (как правило, прицеливание реализовывается в корпус с баками горючего и окислителя);

б) при боевых лазерных ударах, когда лазерное пятно в течение нескольких секунд прогревает и расплавляет корпус КЛА (или бака горючего, или бака окислителя);

в) при работе жидкостных ракетных двигателей многоразового использования (ЖРДМИ) и ЖРД малой тяги многоразового использования (ЖРДМТМИ) - в ситуациях проведения стыковочно-расстыковочных работ и маневрирования КЛА (ВКС) в области КС.

Предполагается, что лазерное оружие будет эффективно применяться не только для поражения наземных, воздушных объектов, но также и КЛА, ВКС, КС, ОКС, БКС.

Воздействие ЖРДМИ и ЖРДМТМИ на нагрев различных металлических предметов исследовали авторы [3-5]. Их результаты можно использовать в дальнейшей работе по созданию систем защиты КЛА (КС, ОКС, ВКС) от тепловых ударов.

Современная лазерная техника широко применяется в народном хозяйстве: в медицине; в различных отраслях промышленности; в геологии; в космических исследованиях [1-17].

Также большое и всестороннее применение получили лазеры военного назначения. Лазеры или квантовые генераторы – это сильные излучатели электромагнитной энергии оптического диапазона. Эффективное воздействие лазерного луча достигается в результате нагревания до значительных температур материалов объекта (вплоть до расплавления), вызывающее его поражение, повреждение чувствительных элементов вооружения, ослепление органов зрения человека, практически до необратимых результатов, причинение ему тепловых ожогов.

Известны следующие существующие и новые (перспективные) методы и способы защиты от лазерного оружия аэрокосмических систем: самолетов, экранопланов-разгонщиков, самолётов - авиаматок; ВКС; ракет-носителей (РН); вспомогательных ЛА; КЛА; КС; БКС, ОКС:

а) способ «размазывания» тепловой энергии лазерного луча по корпусу КЛА путем обеспечения вращательного движения КЛА вокруг собственной продольной оси, например, РН или баллистической ракеты (БР);

б) конструктивный или пассивный способ - создание двойной стенки корпуса КЛА без теплозащитного межстеночного слоя или с ним - для поглощения тепловой энергии лазерного луча;

в) конструктивный или пассивный способ - создание решетчато-ячеистой металлической структуры на внутренней стороне корпуса КЛА - для поглощения тепловой энергии лазерного луча;

г) конструктивный или активный способ - создание внутренних «плавающих» стенок или щитков из графитовых структур, которые передвигаются в зону попадания лазерного луча;

д) конструктивный или активный способ - создание наружных стенок или экранов, щитков со специальными поглощающими или отражающими покрытиями, которые начинают функционировать при попадании на них лазерного луча;

е) конструктивный или пассивный способ - покрытие облицовки КЛА специальным слоем абляционного типа с содержанием углеводородов;

ж) оперативный способ - маскировка КЛА: в земных условиях - это обеспечение задымленности цели на стоянке или создание аэрозольных облаков в полете; в космических - создание искусственных образований путем взрыва химических и специальных зарядов;

и) конструктивный или активно-пассивный способ - изменение светимости сопла: путем применения различных присадок и топлив; путем изменения геометрии сопла или жаровой трубы - для ввода ошибок в прицеливание;

к) оперативный способ - обеспечение маневра КЛА, КС, ОКС, БКС для ухода в сторону от прицеливания и применения боевого лазера;

л) оперативный способ - создание и применение ложных тепловых целей (ЛТЦ);

м) оперативный или пассивно-активный способ - создание вокруг КЛА, КС, ОКС, БКС «зон суверенитета» с расстановкой космических мин.

И на сегодняшний день разрабатывается множество других способов борьбы с тепловыми ударами. В докладе показаны новые и запатентованные схемы защиты КЛА от лазерного оружия.

Разработана общая классификация существующих методов и способов регулирования и стабилизации температуры внутри КЛА (ОКС, ВКС, КС) и на его наружной поверхности, где все методы и способы разделены на группы:

- пассивные (без оперативного вмешательства лётчика – космонавта или наземного оператора);
- активные (при оперативном вмешательстве лётчика – космонавта или наземного оператора);
- активно – пассивные (при совмещении первых двух групп).

На основе экспериментальных исследований разработаны и запатентованы:

- новые способы вентиляции и кондиционирования внутри КЛА;
- новые способы защиты КЛА от тепловых ударов;
- новые конструктивные схемы баков горючего;
- новые системы контроля за тепловыми режимами внутри и снаружи КЛА.

Применение результатов исследования позволит проектировать и создавать новые отечественные КЛА повышенных характеристик по ресурсу, надёжности, эффективности, выживаемости, неуязвимости, экономичности и экологичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Арбатов А.Г., Васильев А.А., Велихов Е.П. и др.* Космическое оружие: дилемма безопасности. М.: Изд-во «Мир», 1986. 182 с.

2. *Беляев М.Ю.* Изучение характеристик и возможностей орбитальной станции для выполнения исследований в рамках программ технических экспериментов на Международной космической станции // Тр. РКК «Энергия». Серия XII. Выпуск 1-2: «Расчёт, проектирование, конструирование и испытания космических систем». Королёв: Изд-во РКК «Энергия» им. С.П. Королёва. 2011. С. 45-50.

3. *Авдуевский В.С.* Основы теплопередачи в авиационной и ракетно - космической технике. /В.С. Авдуевский, Б.М. Глебов и др. М.: Изд-во «Машиностроение», 1975. 623с.

4. *Авдуевский В.С.* Проблемы космического производства. М.: Машиностроение. 1980. 222 с.

5. *Агеенко Л. И., Гальперин Р.Н., Ивашин Ю.С. и др.* Исследование влияния теплового потока от маршевого ЖРД на параметры управляющих ЖРДМТ в условиях двигательной установки перспективного разгонного блока // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2012. № 3 (34). С. 251-258.

6. *Беляков И.Т., Борисов Ю.Д.* Основы космической технологии: уч. пособие для вузов. / М.: Машиностроение, 1989. 185 с.

7. *Беляков И.Т., Борисов Ю.Д.* Технология в космосе. М.: Машиностроение. 1974. 260 с.

8. *Болотин Н.Б.* Боевой самолет и система лазерного вооружения самолета. // Пат. 2380288. МПК B64D7/00 F41H13/00. Опубл. 27.01.2010.

9. *Алешин А.П.* Лазерное оружие самолетного базирования // Зарубежное военное обозрение. 1997, №11. С. 35-38.

10. *Алтунин В.А.* Разработка и анализ способов и средств защиты аэрокосмических и космических систем от приближающихся объектов и тепловых ударов // Тр. 40 чтений, посвящённых разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. (Калуга, 13-15 сентября 2005 г.). Секция №2: «Проблемы ракетной и космической техники». РАН. ИИЕТ РАН. РАКЦ. Казань: Изд-во «Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина», 2006. С. 89-102.

11. *Алтунин В.А.* Разработка способов защиты корпусов аэрокосмических и космических летательных аппаратов от тепловых лазерных ударов // Труды 34 академ. чтений по космонавтике «Актуальные проблемы Росс. космонавтики». (Москва, 26-29 января 2010 г.). РАН. РАКЦ. Сек. №7: «Развитие космонавтики и фундаментальные проблемы газодинамики, горения и теплообмена». М: Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космич. пространства, 2010. С. 167-168.

12. *Алтунин В.А.* Способ защиты аэрокосмических систем от лазерного оружия. // Патент 2212364 РФ. МПК B64G1/58 B64D45/00 F42B15/34. Опубл. 20.09.2003.

13. *Шлома Л.В.* Способ защиты группового объекта от высокоточного оружия с лазерной системой наведения (варианты). // Пат. 2401411 РФ. МПК F41H11/02. Опубл. 27.11.2009.

14. Способ защиты объектов от оптико-электронных систем наведения. Пат 2619373 РФ. МПК F41H13/00 F41B15/00. Опубл. 15.05.2017.

15. *Архипов В.П., Камруков А.С., Козлов Н.П., Новоселов И.Е., Семенов К.А., Трофимов А.В., Яловик М.С.* Способ защиты объектов от оружия с лазерным полуактивным самонаведением (варианты). // Пат 2249172 РФ. МПК F41J2/02. Опубл. 27.03.2005.

16. *Болтин Н.Б.* Способ предотвращения вторжения из космоса. // Пат 2302604 РФ. МПК F41H13/00. Опубл. 10.07.2007.

17. *Мещеряков Б.Т., Крюков В.В.* Твердотельный лазер. // Пат. 2295184 РФ. МПК H01S3/09. Опубл. 20.11.2005.

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF CREATION THERMAL STABILIZATION SYSTEM OF IMPROVED CHARACTERISTICS FOR SPACE-AIRCRAFT

Altunin K., Kalimullin R., Zyryanov S.

rrkalimullin@kai.ru

Supervisor: V. Altunin, Doctor of Technical Sciences, Professor

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

The analysis of the temperature control systems of spacecraft (CSS) was carried out. A classification has been developed for the existing methods and methods for regulating and stabilizing the temperature inside a spacecraft (orbital space station (OSS), aerospace plane (ASP), space satellite (SS)) and on its outer surface. The problems of heating and cooling of spacecraft during orbital flight are shown. Developed and patented new structural schemes CSS high performance.

УДК 629.735:629.7.036.3

МАЛОРАЗМЕРНЫЙ ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ЛЁГКОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Анкудимов В. В. , Сейид Джафари С. С.
vladimir.ankudimov@inbox.ru, livetowin666@mail.ru
Научный руководитель: В. А. Сыченков, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В последние годы, в связи с возросшим интересом к созданию беспилотных летательных аппаратов, появилась необходимость в разработке малоразмерных газотурбинных двигателей (МГТД). Учитывая, что при их разработке и создании не может быть применён принцип масштабирования большеразмерных газотурбинных двигателей (ГТД), вопросы теории, расчёта и проектирования таких силовых установок вызывают дополнительное затруднение. В данном докладе затронута тема создания МГТД для беспилотного летательного аппарата, кратко описываются особенности основных элементов его конструкции.

Входное устройство

Разрабатываемый МГТД представлен на рис. 1, а на рис. 2 представлена CAD модель, выполненная в программе KOMPAS 3D. Его входное устройство состоит из головного обтекателя, в котором располагается электростартер, и воздухозаборника, имеющего конфигурацию близкую к лемнискате и изготовленного по аддитивной технологии из полилактида, что обеспечивает уменьшенный вес конструкции.



Рис. 1. Демонстрационный МГТД на стенде

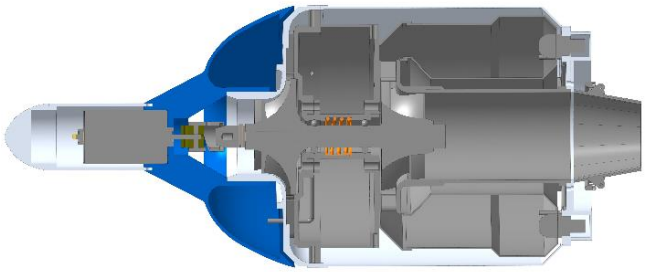


Рис. 2. CAD модель разрабатываемого МГТД

Турбокомпрессор

Учитывая, что создание нового МГТД требует определённых проектных, производственных и технологических затрат, разработка его турбокомпрессора велась на базе существующего прототипа ТКР-7С-6, применяемого для наддува двигателя внутреннего сгорания автомобиля КамАЗ-740. Исходный турбокомпрессор состоит из центробежного компрессора (ЦБК), радиально-осевой турбины (РОТ), соединенных общим валом, где в качестве скользящих подшипников используются бронзовые моновтулки качающегося типа, причём их смазка осуществляется из системы смазки ДВС. За рабочим колесом (РК) ЦБК расположен безлопаточный диффузор; перед РК РОТ расположен сопловой аппарат улиткообразной формы (типа «улитка»).

С целью уменьшения габаритов турбокомпрессора были произведены следующие изменения прототипа: безлопаточный диффузор ЦБК был заменён лопаточным диффузором (ЛД) [1], причём его лопатки выполнены прямолинейной формы с углом клина $\gamma = 8°$ и скругленными входными и выходными кромками (рис. 3). При профилировании ЛД,

количество лопаток выбиралось таким образом, чтобы угол диффузорности (раскрытия диффузора) был равен $\theta_д = 8°$, что обеспечивает безотрывное течение в межлопаточном канале; в результате получено количество лопаток $z_д = 20$ [2].



Рис. 3. Рабочее колесо ЦБК с лопаточным диффузором



Рис. 4. Радиально-осевая турбина

В термогазодинамическом расчёте проточной части ЦБК [3] была выбрана оптимальная для турбокомпрессора частота вращения ротора $n_р = 84000$ мин$^{-1}$, взят из паспортных данных прототипа расход воздуха $G_в = 0{,}275$ кг/с, выбрана температура газа перед турбиной $T_г = 1100$ К. В расчётах получены степень повышения давления за компрессором $\pi_к^* = 2{,}0$, давление воздуха за рабочим колесом $P_к^* = 1{,}986 \cdot 10^5$ Па и температура воздуха за компрессором $T_к^* = 375$ К.

По результатам расчёта потерь давления, коэффициент сохранения давления в лопаточном диффузоре ЦБК составил $\sigma_д^* = 0{,}985$; в наружном кольцевом тракте, с учётом поворота потока в осевом направлении $\sigma_{тр}^* = 0{,}98$; в камере сгорания (КС) $\sigma_{кс}^* = 0{,}95$, следовательно давление на входе в сопловой аппарат (СА) РОТ составило $P_{г0}^* = 1{,}827 \cdot 10^5$ Па.

В РОТ вместо улиткообразного, как в прототипе, был применён лопаточный СА (рис. 4). Для упрощения её конструкции был выбран тип профилирования сопловых лопаток (СЛ) (каналов) простой формы с прямолинейными параллельными образующими, так называемыми крыловидными лопатками, причём их профиль имеет сравнительно утолщённую профилированную внешнюю кромку [3]. Профилирование СА велось при выбранном числе лопаток $z_с = 20$; большее их число предполагает уменьшенные размеры «горла» – самого узкого места канала, что вызывает технологические сложности при механической обработке; при данном числе лопаток их угол клина составил $\gamma = 18°$.

Оптимальная степень реактивности составила $\rho_т = 0{,}38$ [4]. Также отметим, что углы атаки могут быть как положительными, так и отрицательными; в расчетах получены следующие углы атаки при обтекании рабочих лопаток: $i^н = -2°$ и $i^к = +10°$. Стоит отметить, что кроме газодинамических кромочных следов, возникают дополнительные возмущения, частота которых $\nu_в = 28000$ Гц.

Тяга МГТД определялась по величине полного давления газа за турбиной $P_т^* = 1{,}244 \cdot 10^5$ Па, используя уравнения баланса мощностей компрессора и турбины [1]. Согласно перепаду давления, с учётом гидравлических потерь в сопле и известным

газодинамическим функциям была определена скорость на выходе из реактивного сопла $c_c = 310{,}3$ м/с, при этом тяга составила:

$$R = c_c \sin \alpha_2 \cdot G_г, \quad (1)$$

здесь угол выхода газа из турбины $\alpha_2 = 83{,}8°$, расход газа через сопло $G_г = 0{,}275$ кг/с; в расчётах получено значение тяги $R = 84{,}8$ Н.

Камера сгорания

Конструктивно КС, представленная рис. 5, выполнена по противоточной кольцевой схеме, проиллюстрированной на рис. 6. Её жаровая труба (ЖТ) состоит из головной части – первичной зоны (ПЗ), зоны горения (ЗГ) и поворотного на 10° выходного участка – зоны смешения (ЗС). Воздух из компрессора после поворота на 90° поступает во внешний межрубашечный канал и двигается в направлении головной части, втекая в ЖТ через 3 пояса отверстий (П1, П2 и П3), затем, огибая головную часть, разворачивается на 180° и движется в направлении турбины, втекая в ЖТ через 2 пояса отверстий в её внутренней обечайке (П4 и П5).



Рис. 5. Жаровая труба КС

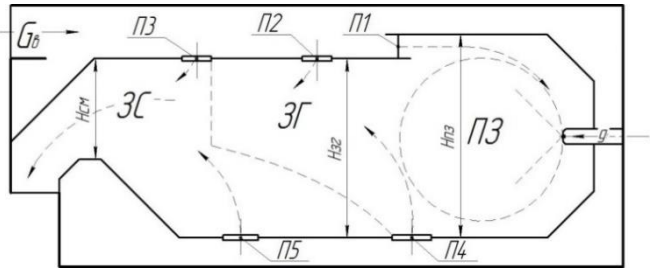


Рис. 6. Конструктивная схема КС

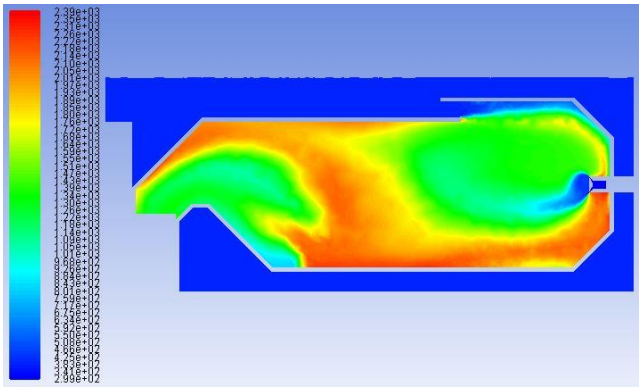


Рис. 7. Поле температур в КС

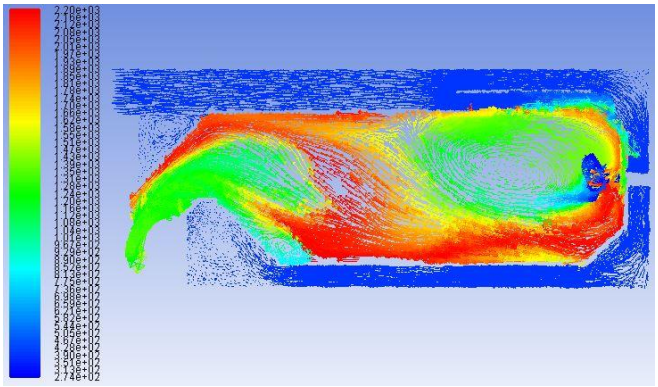


Рис. 8. Векторное поле скоростей в КС

Наружный диаметр КС предопределён размером поворотной части диффузора компрессора, а внутренний диаметр КС соответствует наружному диаметру стенки выходной части рабочего колеса турбины. С учётом скорости воздуха на входе в КС: $w_к^{вх} \leq 40 - 60$ м/с выбраны размеры наружного $h_{мк}^{нар}$ и внутреннего межрубашечного канала $h_{мк}^{вн}$. Высота жаровой трубы в ПЗ $H_ж^{пз}$ выбрана с учётом того, чтобы в ней располагался один тороидальный вихрь.

По выбранным размерам проведены расчеты структуры течения и горения в КС с

применением программного комплекса ANSYS Fluent в 3D постановке на расчётном режиме при $P_к^* = 1{,}986 \cdot 10^5$ Па, $T_к^* = 375$ К, $G_в = 0{,}275$ кг/с и $\alpha_{кс} = 3{,}3$ (рис. 7 и 8).

Данные расчёты проведены без учёта охлаждения стенок ЖТ, что позволило сократить их время за счёт упрощения расчётной сетки и определить наиболее нагретые области стенок ЖТ, на которые необходимо подать охлаждающий воздух, при доводочных испытаниях двигателя.

Опоры ротора и система смазки

В отличие от большеразмерных ГТД, в малоразмерных, учитывая необходимость уменьшения веса, нецелесообразно устанавливать отдельную систему смазки, в таком случае смазка опор ротора осуществляется авиационным керосином, из системы топливопитания двигателя, который впоследствии отбрасывается в реактивное сопло, в результате чего возникают сложности с организацией работы подшипников в режиме жидкостного трения, что приводит к интенсивному изнашиванию вкладышей и цапф валов из-за трения. Также стоит отметить, что для МГТД свойственны значительно большие частоты вращения валов, чем применяемые в настоящее время, в большеразмерных ГТД.

Учитывая вышесказанное, для обеспечения приемлемого межремонтного ресурса и частоты вращения ротора, возникает необходимость замены подшипников, применяемых в прототипе турбокомпрессора. В настоящее время, одним из наиболее приемлемых вариантов, отвечающим предъявленным требованиям, являются шарикоподшипники безсепараторные металлокерамические, то есть с керамическими телами качения. Также отметим, что в связи с конструктивными изменениями турбокомпрессора возникла необходимость уменьшения исходной длины вала.

Выходное устройство

В качестве выходного устройства применено дозвуковое реактивное сопло с удлинительной трубой, конструкция которого представляет из себя удлинительную трубу, оканчивающуюся нерегулируемым реактивным насадком.

Заключение

В настоящее время по результатам проведённых расчётов создана действующая модель МГТД, на испытательном стенде получены основные её характеристики, составлена программа отладки и намечены дальнейшие шаги доводки двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ржавин, Ю. А.* Термогазодинамический расчёт турбокомпрессора для агрегата наддува ДВС : учеб. пособие / Ю. А. Ржавин, В. Н. Карасёв. – М. : Дипак, 2004. – 444 с.

2. *Чистяков Ф. М., Игнатенко В. В, Романенко Н. Т., Фролов Е. С.* Центробежные компрессорные машины : учеб. пособие. – М. : Машиностроение, 1969. – 328 с. 163 ил.

3. Турбокомпрессоры для наддува дизелей : справочное пособие / Б. П. Байков, В. Г. Бордуков, П. В. Иванов, Р. С. Дейч. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1975. – 200 с.

4. *Шерстюк, А. Н.* Радиально-осевые турбины малой мощности/ А. Н. Шерстюк, А. Е. Зарянкин. – М. : Машиностроение, 1976. – 208 с.

5. Малоразмерный ГТД для лёгкого беспилотного летательного аппарата / В. А. Сыченков, А. С. Лиманский, В. В. Анкудимов [и др.] // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации : сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф., г. Иркутск, 19 окт. 2018 г. – Иркутск, 2018. – С. 89–95.

6. *Григорьев А. В., Митрофанов В. А., Рудаков О. А., Саливон Н. Д.* Теория камеры сгорания / Под ред. О. А. Рудакова. – СПб. : Наука, 2010.– 228 с. 74 ил.

7. *Локай, В. И.* Газовые турбины двигателей летательных аппаратов. Теория, расчёт: учеб. для студентов вузов по специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки» / В. И. Локай, М. К. Максутова, В. А. Струнки. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1991. – 512 с.

MICRO GAS TURBINE ENGINE GAS TURBINE ENGINE FOR EASY UNCLEANED AIRCRAFT

Ankudimov V., Seyid Jafari S.
vladimir.ankudimov@inbox.ru, livetowin666@mail.ru
Scientific adviser: V. Sychenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

In recent years, due to the increased interest in the creation of unmanned aerial vehicles, there has been a need to develop micro gas turbine engines (MGTE). Considering that the principle of scaling large-sized gas turbine engines cannot be applied in their development and creation, the issues of theory, calculation and design of such power plants cause an additional difficulty. This report touches on the topic of creating a MGTE for an unmanned aerial vehicle, briefly describes the features of the main elements of its design.

УДК 629.735:629.7.036.3

РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОРАЗМЕРНОЙ ПРОТИВОТОЧНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

Анкудимов В. В.
vladimir.ankudimov@inbox.ru
Научный руководитель: Б. Г. Мингазов, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данном докладе описываются особенности расчёта противоточной камеры сгорания (КС) разрабатываемого малоразмерного газотурбинного двигателя (МГТД) для беспилотного летательного аппарата.

Вводная часть

В последние годы, в связи с возросшим интересом к созданию беспилотных летательных аппаратов, появилась необходимость в разработке МГТД. Учитывая, что при их разработке и создании не может быть применён принцип масштабирования большеразмерных газотурбинных двигателей (ГТД), вопросы теории, расчёта и проектирования таких силовых установок вызывают дополнительное затруднение. Как правило, выпускаемые в настоящее время МГТД представляют собой турбореактивный двигатель с центробежным одноступенчатым компрессором, имеющим односторонний вход, малоразмерной испарительной камерой сгорания и одноступенчатой осевой турбиной, при этом входное устройство обычно имеет конфигурацию близкую к лемнискате.

Разрабатываемый МГТД представлен на рис. 1, а на рис. 2 представлена CAD модель, выполненная в программе KOMPAS 3D. Его входное устройство состоит из головного обтекателя, в котором располагается электростартер, и воздухозаборника, имеющего конфигурацию близкую к лемнискате и изготовленного по аддитивной технологии из полилактида, что обеспечивает уменьшенный вес конструкции; в качестве компрессора используется центробежный компрессор, в качестве турбины – радиально-осевая турбина. Для обеспечения приемлемого межремонтного ресурса и частоты вращения ротора, в качестве опор ротора были использованы шарикоподшипники безсепараторные металлокерамические, то есть с керамическими телами качения. Роль выходного устройства выполняет дозвуковое реактивное сопло с удлинительной трубой, конструкция которого представляет из себя удлинительную трубу, оканчивающуюся нерегулируемым реактивным насадком.



Рис. 1. Демонстрационный МГТД на стенде

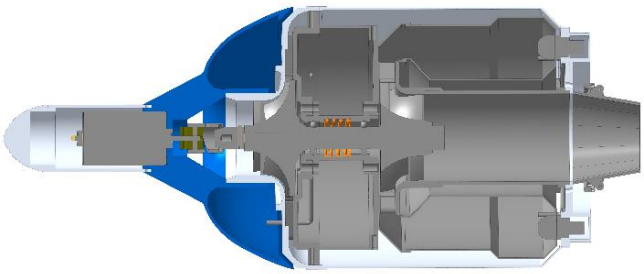


Рис. 2. CAD модель разрабатываемого МГТД

Расчёт камеры сгорания

Конструктивно КС, представленная рис. 3, выполнена по противоточной кольцевой схеме, проиллюстрированной на рис. 4. Её жаровая труба (ЖТ) состоит из головной части – первичной зоны (ПЗ), зоны горения (ЗГ) и поворотного на 10° выходного участка – зоны смешения (ЗС). Воздух из компрессора после поворота на 90° поступает во внешний межрубашечный канал и двигается в направлении головной части, втекая в ЖТ через 3 пояса отверстий (П1, П2 и П3), затем, огибая головную часть, разворачивается на 180° и движется в направлении турбины, втекая в ЖТ через 2 пояса отверстий в её внутренней обечайке (П4 и П5). В таблице 1 представлено распределение площади отверстий по поясам подвода воздуха.

Таблица 1

Распределение площади отверстий по поясам подвода воздуха

F_1, %	F_2, %	F_3, %	F_4, %	F_5, %	F_Σ, %
21,6	15,3	15,3	27,1	20,8	100



Рис. 3. Жаровая труба КС

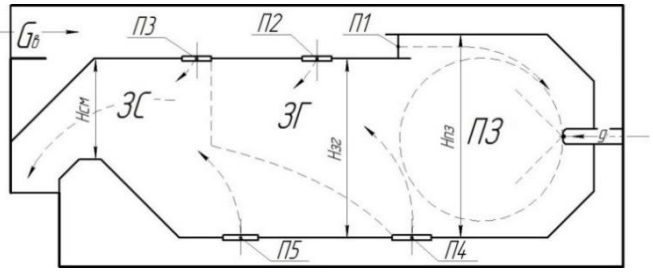


Рис. 4. Конструктивная схема КС

Наружный диаметр КС предопределён размером поворотной части диффузора компрессора, а внутренний диаметр КС соответствует наружному диаметру стенки выходной

части рабочего колеса турбины. С учётом скорости воздуха на входе в КС: $w_к^{вх} \leq 40 \div 60$ м/с выбраны размеры наружного $h_{мк}^{нар}$ и внутреннего межрубашечного канала $h_{мк}^{вн}$. Высота жаровой трубы в ПЗ $H_ж^{пз}$ выбрана с учётом того, чтобы в ней располагался один тороидальный вихрь.

Тогда длина первичной зоны:

$$L^{пз} = 1{,}1H_ж^{пз}, \quad (1)$$

длина зоны горения:

$$L^{зг} = 2{,}5H_ж^{ср}, \quad (2)$$

где $H_ж^{ср} = \frac{H_ж^{пз} + H_ж^{зг}}{2}$ – средняя высота ЖТ в зоне горения;

причём длина поворотного участка зоны смешения составляет (рис. 4):

$$L^{пз} = 1 - 1{,}1H_ж^{зс}, \quad (3)$$

где $H_ж^{зс}$ – высота ЖТ в зоне смешения.

По выбранным размерам проведены расчеты структуры течения и горения в КС с помощью сертифицированной программы расчёта «КАМЕРА» в 2D постановке [1] и с применением программного комплекса ANSYS Fluent в 3D постановке на расчётном режиме при $P_к^* = 1{,}986 \cdot 10^5$ Па, $T_к^* = 375$ К, $G_в = 0{,}275$ кг/с и $\alpha_{кс} = 3{,}3$.

Результаты расчётов в 2D постановке представлены на рис. 5, в 3D постановке на рис. 6 и 7. Из их анализа можно сделать вывод, что в головной части, струями воздуха, поступающими через первый пояс отверстий П1, в наружной обечайке жаровой трубы (рис. 4), организована мощная вихревая структура в виде тороидального вихря (рис. 7), обеспечивающая эффективное перемешивание топлива с воздухом и образующая горючую смесь с составом $\alpha_{пз} \approx 0{,}5 \div 0{,}6$, при $T_г^* = 1500 \div 1600$ К (рис. 6). Далее эта смесь разбавляется вторичным воздухом, поступающим через пояс отверстий во внутренней обечайке П4, образуя смесь с составом $\alpha_{зг} \approx 1{,}0 \div 1{,}5$ и интенсивно выгорает при температуре $T_г^* = 1800 \div 2000$ К. После этого происходит разбавление продуктов горения при смешении их с воздухом, поступающим через пояса отверстий П5, П2 и П3 до температуры $T_г^* = 1100 \div 1200$ К. При этом поле температур на входе в сопловой аппарат турбины имеет равномерный профиль (рис. 6).

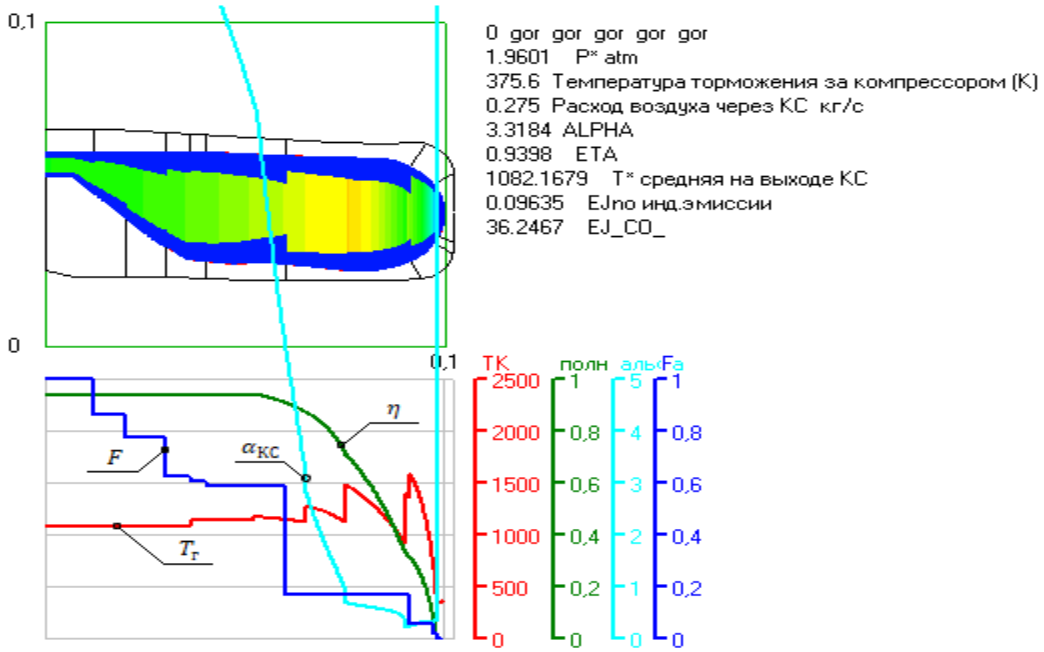


Рис. 5. Результаты расчёта КС в программе «КАМЕРА»

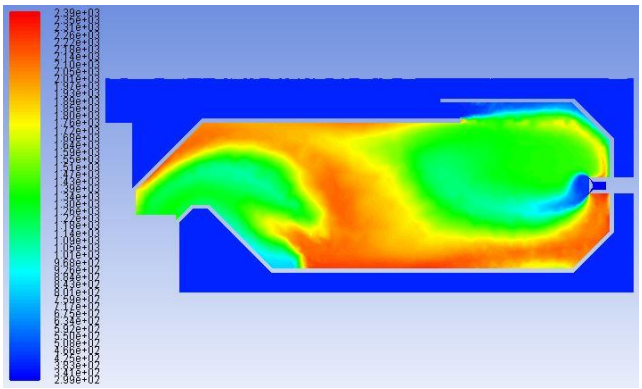


Рис. 6. Поле температур в КС

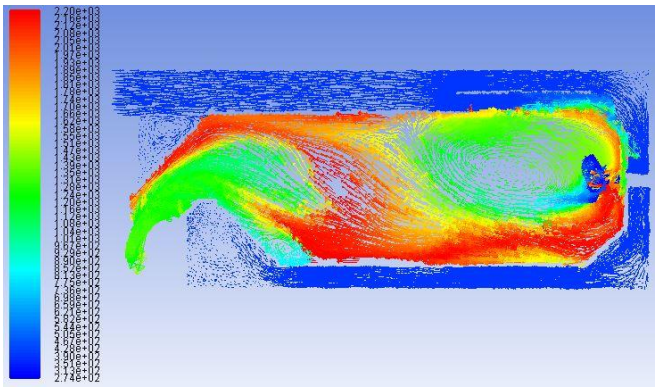


Рис. 7. Векторное поле скоростей в КС

Данные расчёты проведены без учёта охлаждения стенок ЖТ, что позволило сократить их время за счёт упрощения расчётной сетки и определить наиболее нагретые области стенок ЖТ, на которые необходимо подать охлаждающий воздух, при доводочных испытаниях двигателя.

Заключение

В настоящее время по результатам проведённых расчётов создана действующая модель МГТД, на испытательном стенде получены основные её характеристики, составлена программа отладки и намечены дальнейшие шаги доводки двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Программный комплекс «Камера»: свид. 2006613901 Рос. Федерация : свид. об официал. рег. прогр. для ЭВМ / Б. Г. Мингазов, В. Б. Явкин, Ю. В. Токмовцев ; заявитель и правообладатель Б. Г Мингазов. – № 2006613653 ; заявл. 31.10.06 ; опубл. 14.11.06, реестр прогр. для ЭВМ. – 1 с.

2. Малоразмерный ГТД для лёгкого беспилотного летательного аппарата / В. А. Сыченков, А. С. Лиманский, В. В. Анкудимов [и др.] // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации : сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф., г. Иркутск, 19 окт. 2018 г. – Иркутск, 2018. – С. 89–95.

3. *Григорьев А. В., Митрофанов В. А., Рудаков О. А., Саливон Н. Д.* Теория камеры сгорания / Под ред. О. А. Рудакова. – СПб. : Наука, 2010.– 228 с. 74 ил.

4. *Мингазов, Б. Г.* Камеры сгорания газотурбинных двигателей. Конструкция, моделирование процессов и расчет : учеб. пособие / Б. Г. Мингазов. – 2-е изд., исправл. – Казань : Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2006. – 220 с.

CALCULATION OF THE CHARACTERISTICS OF A SMALL COUNTERCURRENT COMBUSTION CHAMBER

Ankudimov V.

vladimir.ankudimov@inbox.ru

Scientific adviser: B. Mingazov, Doctor of Technical Sciences, Professor

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

This report describes the features of the calculation of the countercurrent combustion chamber of the micro gas turbine engine under development for an unmanned aircraft.

УДК 004.02

ТРЕБУЕМОЕ ЧИСЛО ЯЧЕЕК СЕТОЧНОЙ МОДЕЛИ ПРИ РЕШЕНИИ НЕАДИАБАТНЫХ ЗАДАЧ

Антонов Н.Е.
kolyaanto@yandex.ru
Научный руководитель: А.Н. Сабирзянов, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной статье определено оптимальное число ячеек твердотельной составляющей сеточной модели при расчете сопряжённого теплообмена, в энергомассовых установках.

В настоящее время вычислительная газодинамика становиться все более популярным инженерным инструментом [1]. Это обусловлено таким ее качеством, как формальная простота постановки задачи и независимость методики ее решения от рабочего процесса. Достоинства ANSYS Fluent заключается в использовании неструктурированной сеточной технологии и возможности получить достаточно точные решения для областей с большими градиентами потока. В ANSYS Fluent включены ламинарные и турбулентные модели газодинамики, теплопередачи, фазовых переходов, радиации. Таким образом, сегодня ANSYS Fluent является признанным лидером при расчете тепломассопереноса в жидких и газообразных средах, включая многофазные потоки и даже химические явления. Использование расчетных комплексов, разработанных для численного решения систем уравнений сохранения, значительно облегчает моделирование рабочих процессов различных видов энергетических установок. Сегодняшняя доступность ANSYS Fluent обусловлена его возможностью выполнять параллельные вычисления на платформах Windows, Linux, Unix, при этом можно использовать многопроцессорные машины или кластеры, что значительно снижает трудоемкость и машинное время вычисления.

Математическое моделирование процессов тепломассообмена и газодинамики является эффективным и экономически более выгодным способом, по сравнению с натурными исследованиями, например, газотурбинных двигателей как правило, для адекватного расчета задач теплообмена количество ячеек выбирается максимально большим, но так как существуют ограничения в энергетических и временных ресурсах, должно быть выбрано оптимальное число ячеек. Таким образом: цель данной работы заключается в определении оптимального числа ячеек сеточной модели твердотельных элементов при решении задач сопряженного теплообмена в двигательных установках для автомодельных режимов. Реализация поставленной задачи осуществлялась с применением программного продукта ANSYS Fluent.

Для достижения поставленной цели, в место реальной двигательной установки целесообразно использовать значительные упрощения. В связи с этим, объектом исследования в данной работе является твердотельная область (внутренняя стенка), «омываемая» газами с различной температурой. Геометрическая модель коаксиально расположенных труб представлена на рис.1, в которой происходит «омывание» холодным потоком (300К) и горячим (3000К). Размеры геометрической модели: наружный радиус кожуха R=60мм; внутренний радиус трубы r=28мм; толщина стенки σ=3мм; длина геометрической модели L=500мм. Для определения оптимального числа ячеек, необходимо создать сеточные модели с разным количеством ячеек.

Решение поставленной задачи проводилось в рамках осесимметричного приближения в стационарной постановке. Рассматриваемые газовые среды; «омывающие» поверхности, гомогенные, подчиняющиеся уравнению состояния идеального газа.

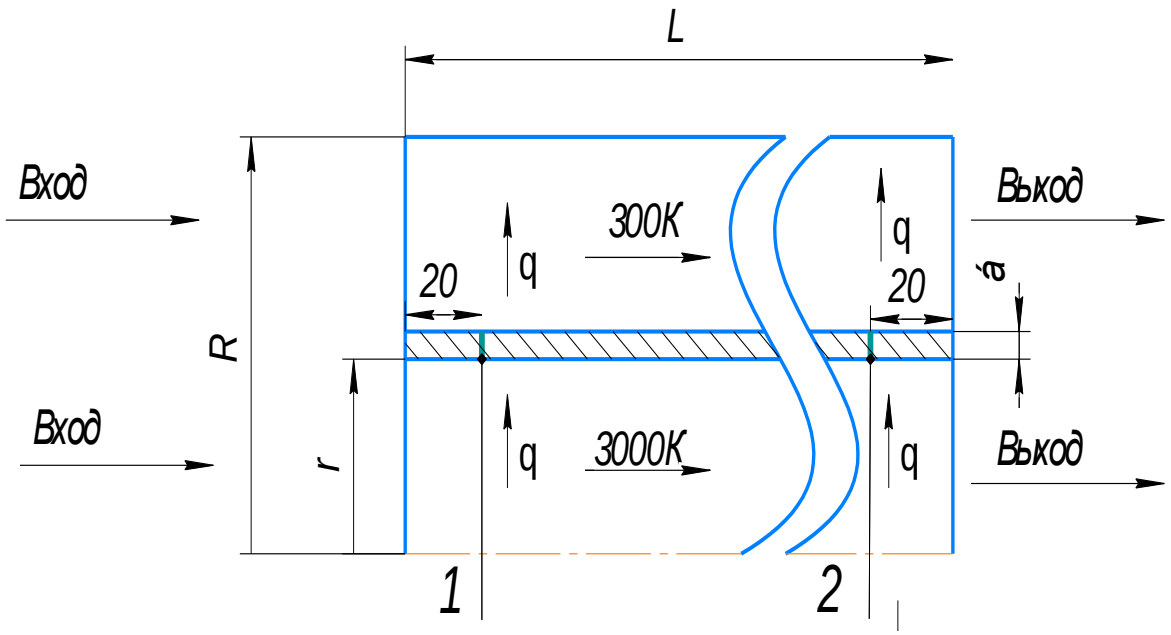


Рис. 1. Схема расчетной модели: 1,2 – сечения в которых осуществлялся замер температуры; q –тепловой поток

Проверка данных результатов осуществлялась при помощи следующих инженерных расчетов: для определения градиента температур на стенке, использовалась интенсивность удельного теплового потока q, характеризующаяся коэффициентом теплоотдачи α, который определяется как [2]:

$$q = \alpha\left(T_c - T_г\right). \quad (1)$$

где T_c – температура стенки; $T_г$ – температура газа.

Коэффициент теплоотдачи находиться как: [2]

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{d}. \quad (2)$$

где Nu - критерий Нуссельта; λ – коэффициент теплопроводности материала; d – определяющий геометрический размер, (в нашем случае диаметр).

С помощь сеточного генератора Gambit построена структурированная сетка как на стенке, так в пространстве моделирующим газодинамический поток. По толщине стенки задавалось разное количество ячеек стенки, число которых представлено в *таблице №1*, где n – это количество ячеек по толщине стенки δ; N – общее количество ячеек.

Таблица №1

Размеры структурированной сетки

n	1	2	3	5	10	15	20	25
N	8500	13000	25500	54718	82834	125249	168336	254430

Для более подробного исследования условий моделирования целесообразно рассмотреть разные материалы стенки [3]: сталь (Ст 3), медь (М3), технический графит.

Моделирование проводилось при соблюдении условий автомодельности: со стороны холодного потока критерий Рейнольдса составил $19{,}2 \times 10^5$; критерий Прандтля составил 5,84. Для горячего потока критерий Рейнольдса составил $4{,}6 \times 10^5$; критерий Прандтля составил 0,65.

По результатам моделирования на рис.2 представлена зависимость изменения относительной погрешности δT от числа ячеек, которая определяется:

$$\delta T = \left(\frac{T_{ср} - T_l}{T_{ср}}\right)100\% \cdot \quad (2)$$

где $T_{ср}$ – средняя температура по толщине указанных в сечениях стенки; T_l – температура в сечении, рассчитанная по известным инженерным методикам для условий, соответствующих численному моделированию, l – индекс рассматриваемого материала.

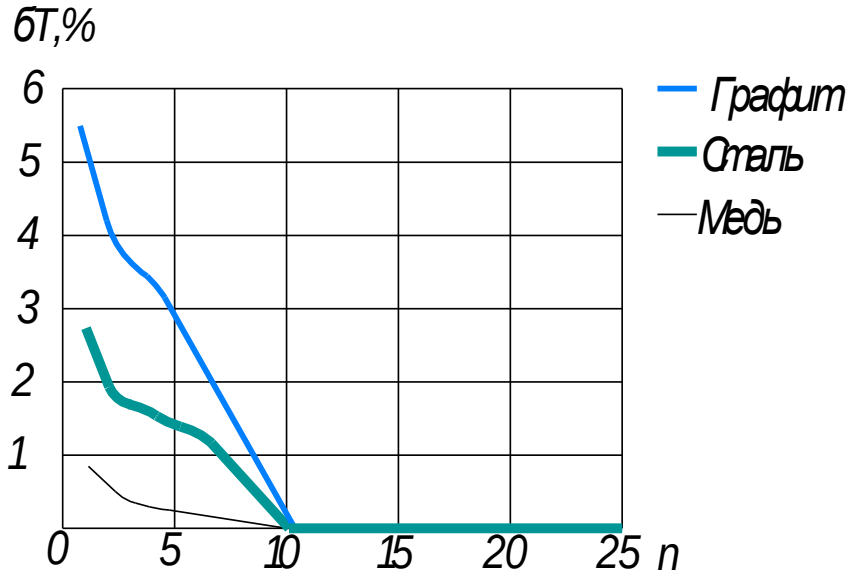


Рис. 2. Изменение относительной погрешности расчета температуры стенки от количества ячеек по толщине стенки

Из предоставленного рисунка видно, что для всех выбранных материалов относительная погрешность не меняется после 10 ячеек. Таким образом, данный алгоритм подходит для выбора оптимального числа ячеек в стенке зависимости от ее материала в задачах сопряженного теплообмена. В зависимости от материала стенки оптимальное число ячеек может меняться, что обусловлено теплопроводностью материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Никущенко Д.В.* Исследование течений вязкой несжимаемой жидкости на основе расчетного комплекса FLUENT: учеб. пособие / СП.б.: Изд-во СПбГМТУ, 2004. С.94.

2. *Михеев М.А., Михеева И.М.* Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977. С.344.

3. *Туманов А.Т.* Конструкционные материалы: // М.: «Советская энциклопедия».1965. Т. 1. С. 529.

THE REQUIRD NUMBER OF CELLS GRID MODELS IN SOLVING NEEDABANG TASK

Antonov N.

kolyaanto@yandex.ru

Supervisor: A. Sabirzyanov, Candidate of Technical Sciences

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

In this the optimal number of cells of the solid component of the geometric model when calculating the conjugate heat transfer in energy – mass installations is determined.

УДК 621.644.029.052

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

***Асташев С.И.*[1]**
medvedeva-on@mail.ru
Научный руководитель: О.Н. Медведева[2], д-р техн. наук, доцент
([1]*Филиал ООО «Газпром ПХГ» «Елшанское УПХГ», г. Саратов,*
[2]*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*)

В работе представлены результаты расчета теплообменной установки на базе вихревой трубы Ранка-Хилша, предлагаемой к использованию на подземных газовых хранилищах для повышения технологической надежности газоперекачивающих агрегатов. Экономический эффект от внедрения усовершенствованной схемы по результатам технико-экономического обоснования составил 85,77%.

Для повышения давления и перемещения газа, поступающего из входного коллектора компрессорных станций (головных, линейных, дожимных) магистральных газопроводов, а также в подземных хранилищах газа (ПХГ) используются газоперекачивающие агрегаты (ГПА) различного технологического исполнения, классифицирующихся по функциональным признакам, принципу действия и типу привода. При этом для каждого ГПА может предусматриваться индивидуальная установка подготовки топливного и пускового газа [1, 2]. Топливный газ после блока редуцирования и дополнительной очистки от конденсата используется для сжигания в газотурбинных установках [2, 3] и после установки подготовки он должен соответствовать требованиям нормативных документов [4÷6]. Для поддержания требуемой температуры топливного газа используется система подогрева на базе различных теплообменных устройств. На сегодняшний день на предприятиях ПАО «Газпром» эксплуатируются свыше пяти тысяч подогревателей газа различных типов, большая часть которых имеет значительную степень износа, физически и морально устарела и требует модернизации. Помимо этого, из более чем 150 модификаций подогревателей газа прямого нагрева и подогревателей с промежуточным теплоносителем, выпускаемых отечественной промышленностью, по тепловой мощности удовлетворяют подогреватели газа прямого нагрева ПГА-5, ПГА-10, ПГА-100. Несмотря на новые конструктивные решения (наклонные патрубки в жаровой трубе для интенсификации, небольшой объем промежуточного теплоносителя), используемые в подогревателях с промежуточным теплоносителем, они имеют и ряд серьезных недостатков: значительный расход топливного газа на подогреватель; вредные выбросы оксида азота и оксида углерода в атмосферу; периодическая замена теплоносителя и повышенная сложность в эксплуатации.

По нашему мнению, в качестве альтернативного способа подогрева топливного газа, может быть использована конструкция теплообменного аппарата, использующего тепло компримированного газа на выходе из нагнетателя [7]. При этом расход газа на теплообменный аппарат предлагается регулировать при помощи вихревой трубы.

Эффект работы вихревых труб, являющихся одним из видов струйных трансформаторов тепла и представляющая собой простейший аппарат без движущихся частей, был обнаружен опытным путем Ж. Ранком в 1934 году, а затем изучен Хилшем [8, 9]. В нашей стране наибольший вклад в развитие исследований вихревого эффекта внесли Мартыновский В.С., Меркулов А.П. [10, 11] и другие отечественные ученые [12÷14].

Для предложенного в работе [7] способа подогрева газа был проведен расчет и подбор основного оборудования.

В действительных условиях работа вихревой трубы представляет собой сложный газодинамический процесс, значительно отличающийся от идеализированного [13]. В упрощенном виде процесс работы действительной вихревой трубы показан в $T - S$ диаграмме на рис. 1. Основное отличие действительного процесса вихревой трубы от идеального заключается в следующем:

1. Процесс расширения холодного потока газа происходит не изэнтропно (кривая *1-2'),* а по необратимой политропе *1-2*.

2. В конце процесса расширения в трубе в точке *2* кинетическая энергия холодного потока не равна нулю. Холодный поток, выводимый из вихревой трубы через диафрагму, обладает кинетической энергией, связанной с вращательным и осевым движением в диафрагме.

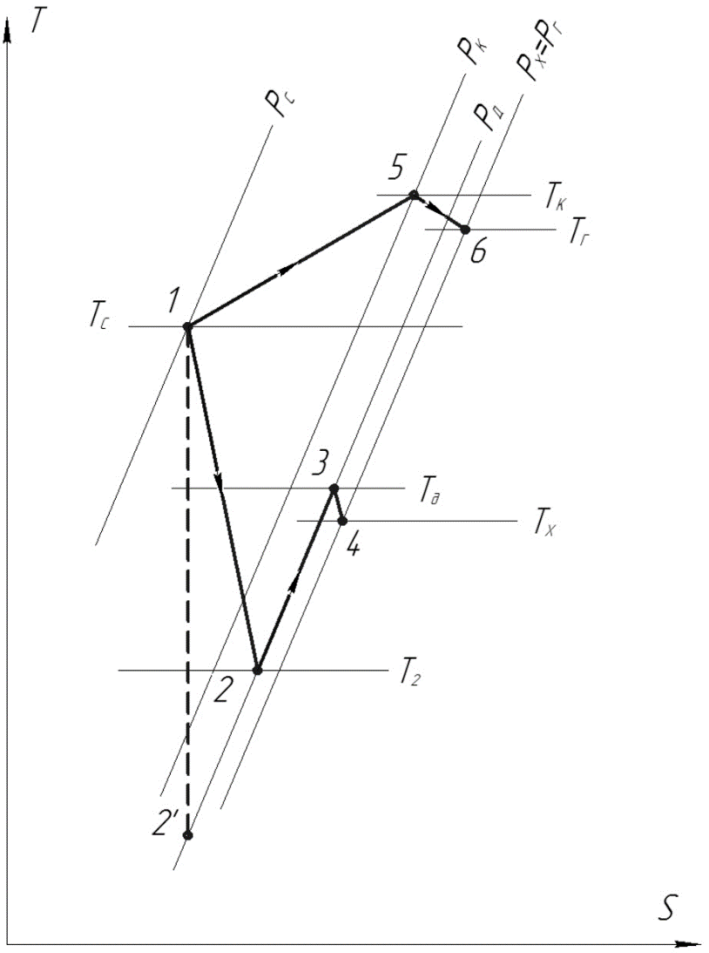


Рис. 1. Процесс работы вихревой трубы на T-S диаграмме

В процессе дальнейшего преобразования кинетическая энергия переходит в тепло, отчего возрастает энтальпия i_x и температура холодного потока T_x ($T_x > T_2$).

3. Относительное снижение температуры холодного потока $\Delta T_X/T_C$ зависит от доли холодного потока μ, так как при постоянном сечении диафрагмы $f_д$ скорость газа в се отверстии является функцией расхода.

4. Горячему потоку передается меньше энергии, чем в идеальной трубе, так как при одних и тех же значениях i_c, $П_{с.х.}$ и μ в действительной трубе энтальпия холодного потока после трубы значительно больше, чем в идеальной.

Произведем расчет вихревой трубы по характеристикам $\Delta T_x = f(\mu)$ и $\Delta T_г = f(\mu)$. Для этого зададимся следующими исходными параметрами.

Геометрические размеры: диаметр трубы d_m = 280 мм; диаметр диафрагмы холодного потока $d_д$ = 120 мм; диаметр сопла d_c = 100 мм. Вихревая труба работает на сжатом газе (метане) следующих параметров: давление p_c = 5 МПа; температура T_c = 288 К; давление холодного потока газа p_x = 3 МПа; показатель адиабаты k = 1,33.

Произведем расчет определяющих параметров вихревой трубы.

Площадь проходного сечения сопла: $f_c = \pi d^2/4 = 0.00785$ м^2.

Площадь проходного сечения диафрагмы: $f_д = \pi d^2/4 = 0.0113$ м^2.

Площадь поперечного сечения вихревой трубы: $f_m = \pi d^2/4 = 0.0615$ м^2.

Геометрические параметры вихревой трубы: $f_\partial / f_c = 1{,}44$; $f_\partial / f_m = 0.184$.

Вычислим относительное давление холодного потока: $\Pi_{cx} = p_c/p_x = 0.6$.

Предварительно принимаем отношение критических скоростей сжатого и холодного потоков:

$$\frac{a_{c*}}{a_{x*}} = \sqrt{\frac{T_c}{T_x}} = 1.05.$$

Определяем предварительную критическую долю холодного потока:

$$\mu^* = \frac{a_{c*}}{a_{x*}} \cdot \frac{f_\partial}{f_c} \cdot \frac{\Pi_{cx}}{\Pi_{c*}} = 0.92,$$

где критическое отношение давлений $\Pi_{c*} = 0.98$ при значении приведенной адиабатной скорости потока при расширении $\lambda = 0.2$.

Произведем расчет режима с докритическим истечением через диафрагму.

Для всех значениях доли холодного потока $\mu < \mu^*$ относительное давление потока перед диафрагмой $\Pi_{c.\partial} = \Pi_{c^*} = 0.6$; $\lambda_{c.\partial} = \lambda_{c^*} = 0.92$; $q_{c.\partial.} = 0.98$.

Задаваясь различными значениями μ, определяем относительное снижение температуры холодного потока:

$$\frac{\Delta T_x}{T_c} = \frac{k-1}{k+1}\lambda_{c\partial}^2 \left(\varphi^2 - 0.445 \frac{f_\partial}{f_T} - \frac{\mu^2}{q_{c\partial}^2} \cdot \frac{f_c^2}{f_\partial^2} \right), \quad (1)$$

где $\varphi = 0.75$ – коэффициент скорости.

При $\mu = 0$ $\frac{\Delta T_x}{T_c} = 0.057$.

Выразим ΔT_x из уравнения (1): $\Delta T_x = T_c \cdot 0.057 = 16{,}64$ К.

При этом нагрев теплового потока составит: $\Delta T_г = \frac{\mu \cdot \Delta T_x}{(1-\mu)} = 0$.

Аналогично определяются параметры трубы при значениях доли холодного потока $\mu = 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1.0$.

Затем произведем расчет режимов при критическом и сверхкритическом истечении потока через диафрагму.

При критическом истечении $\mu = \mu^* = 0.92$ ($\Pi_{c.\partial} = \Pi_{c^*} = 0.6$; $\lambda_{c.\partial} = \lambda_{c^*} = 0.92$; $q_{c.\partial.} = 0.98$.).

Отношение $\frac{\Delta T_x}{T_c} = 0.00666$. Таким образом, изменение температуры холодного потока при критическом режиме составит $\Delta T_x = 1{,}918$ К. Следовательно, температура холодного потока на выходе с диафрагмы при заданных начальных параметрах: $T_x = T_c - \Delta T_x = 286$ К.

По полученному значению температуры холодного потока T_x уточняем значение принятого предварительного отношения критических скоростей:

$$\frac{a_{c*}}{a_{x*}} = \sqrt{\frac{T_c}{T_x}} = 1.003.$$

Уточненное значение критической доли холодного потока $\mu^* = \frac{a_{c*}}{a_{x*}} \cdot \frac{f_\partial}{f_c} \cdot \frac{\Pi_{cx}}{\Pi_{c*}} = 0.88$.

Уточним отношение $\Delta T_x/T_c$ по формуле (1) при полученном значении критической доли холодного потока μ^*:

$$\frac{\Delta T_x}{T_c} = 0.011.$$

Таким образом, изменение температуры холодного потока при уточненном критическом

режиме будет составлять ΔT_x = 3.168 К. Следовательно, температура холодного потока на выходе с диафрагмы при заданных начальных параметрах: $T_x = T_c - \Delta T_x = 284.832$ К.

Определим температурный эффект вихревой трубы (ΔT_x и $\Delta T_г$) вихревой трубы при различных значениях входного давления p_c топливного газа до подогрева. Для проведения расчета зададимся исходными параметрами: доля холодного потока μ = 0.6; температура сжатого газа T = 288 К; давление сжатого газа p_c = 3.5; 4; 4.5; 5; 5.5; 6 МПа; давление холодного потока p_x = 3 МПа.

Относительное давление холодного потока при p_c = 3,5МПа составит: $П_{с.х.}$ = 0.875. Соответствующие этому значению газодинамические функции: λ = 0.55; q = 0.75. Значение температурного эффекта по формуле (1): $\frac{\Delta T_x}{T_c} = 0{,}115$. Остальные характеристики вихревой трубы при давлении p_c=3,5МПа, а также при других давлениях приведены на рис. 2.

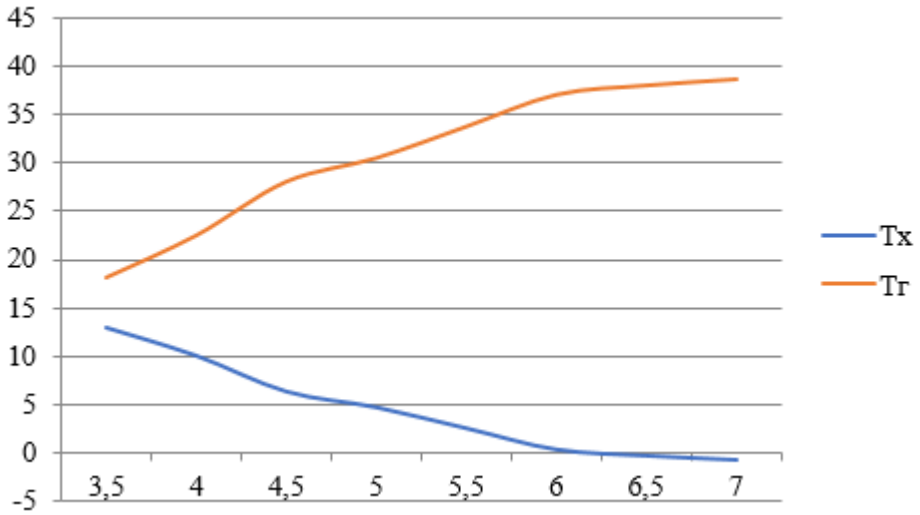


Рис. 2. График зависимости выходных параметров T_x и $T_г$ от входного давления

Далее определим холодопроизводительность вихревой трубы Q_0. Для этого предварительно зададимся следующими исходными данными: доля холодного потока μ = 0.6; давление газа на входе в трубу p_c = 5 МПа; температура потока газа, входящего в вихревую трубу, T_c=288 К; расход газа G_c = 0.477кг/с; температурный эффект по холодному потоку $\Delta T_x/T_c$ = 0.0362.

$$Q_0 = G_c \cdot \mu \cdot c_p \cdot \Delta T_x = 6.587 \text{ кВт}.$$

Удельные эксергии потоков определим по *e-h* диаграмме: для сжатого газа e_c = 330 кДж/кг; для холодного потока e_x = 250 кДж/кг; для горячего потока $e_г$ = 290 кДж/кг. Таким образом, эксергитический коэффициент полезного действия вихревой трубы будет равен:

$$\eta = \frac{\left(\mu \cdot \Delta e_x + (1-\mu)\Delta e_г\right)}{\Delta e_c} = 0.86 = 86\%.$$

В тех случаях, когда горячий поток в процессе не используется $\eta = \frac{(\mu \cdot \Delta e_x)}{\Delta e_c} = 0.509 \approx 51\%$.

По результатам конструктивного расчета были получены следующие геометрические размеры вихревой трубы: d_m = 280 мм; диаметр диафрагмы холодного потока $d_д$ = 120 мм; диаметр сопла d_c = 100 мм; общая длина l = 5,6 м.

По результатам математического моделирования, можно сделать вывод, что предложенная конструкция отвечает всем необходимым требованиям, предъявляемым к оборудованию, используемому на объектах газового хозяйства, и полностью окупается за 1

год эксплуатации. Дополнительным преимущество является простота в эксплуатации и отсутствие каких-либо движущихся частей, что повышает долговечность и надежность установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Казаченко А.Н.* Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов. М.: Нефть и газ, 1999. 463 с.

2. *Ревзин Б.С.* Газотурбинные газоперекачивающие агрегаты. М.: Недра, 1986. 215 с.

3. ГОСТ Р 54404-2011. Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Общие технические условия М.: Стандартинформ, 2012. 16 с.

4. ГОСТ Р 54403-2011 Установки газотурбинные для привода турбогенераторов. Общие технические условия (с Изменением N 1). М.: Стандартинформ, 2012. 18 с.

5. ГОСТ Р 52782-2007. Национальный стандарт Российской Федерации. Установки газотурбинные. Методы испытаний. Приемочные испытания. М.: Стандартинформ, 2008. 58 с.

6. ГОСТ Р 52527-2006 (ИСО 3977-9:1999) Установки газотурбинные. Надежность, готовность, эксплуатационная технологичность и безопасность. М.: Стандартинформ, 2006. 20 с.

7. *Асташев С.И., Медведева О.Н.* Разработка альтернативного способа подогрева топливного газа на газоперекачивающих агрегатах// Вестник гражданских инженеров. 2017. №6(65). С. 172-176.

8. *Ranque G.J.* Expériences sur la détente giratoire avec productions simultanées d'un echappement d'air chaud et d'un echappement d'air froid // J. de Physique et de Radium, 1933, Vol. 7, No. 4, P. 112–115.

9. *Hilsch R.* Die Expansion von Gasen im Zentrifugalfeld als Kälteprozeß // Z.F. Naturforschung, 1946, Bd. 1, P. 208–213.

10. *Мартыновский В.С.* Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов. М.: Энергия, 1979. 288 с.

11. *Меркулов А.П.* Вихревой эффект и его применение в технике. Изд 2-е, перераб. и дополн. Самара: Оптима, 1997. 344 с.

12. *Рябов А.П., Гусев А.П.* и др. Трехпоточные вихревые трубы в нефтедобывающей и газовой промышленности // Нефтегазовые технологии. 2007. №1. С. 2-7.

13. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Гидродинамика. М.: Наука, 1986. 736 с.

14. *Суслов А.Д., Иванов С.В.* и др. Вихревые аппараты. М.: Машиностроение, 1985. 256 с.

MODELING OF THE VORTEX TUBE FOR THE HEAT EXCHANGE EQUIPMENT OF GAS-COMPRESSOR UNITS

***Astashev S.*[1]**

medvedeva-on@mail.ru

Scientific adviser: O. Medvedeva[2], Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

([1]*Branch of LLC «Gazprom UGH» «Elshanskoe UGH», Saratov,*

[2]*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov*)

The paper presents the results of the calculation of the heat exchange plant based on the Ranque-Hilsch vortex tube, proposed for use in underground gas storage facilities to increase the technological reliability of gas pumping units. The economic effect from the introduction of an improved scheme based on the results of a feasibility study was 85.77%.

УДК: 629.7.01

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОБЩЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПРЕССОРА И ТУРБИНЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГТД TJ-100 ДЛЯ МНОГОРЕЖИМНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Ахмед Хирш Салим А.
hersh_ise19@mail.ru
Научный руководитель: Б.М. Осипов, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Под термогазодинамическими параметрами понимаются параметры, описывающие термодинамику процессов в проточной части двигателя. К ним относятся температура, давление, расход воздуха, газа, топлива, скорость течения, частота вращения роторов, тяга и т.п. К не термогазодинамическим параметрам относят давление и температуру масла, давление топлива, уровни вибраций и т.д. Ниже рассмотрены работы, связанные с реализацией параметрических методов контроля и диагностики по термогазодинамическим параметрам на установившихся режимах работы ГТД.

Введение

При контроле и диагностики состояния ГТД широкое применение нашли параметрические методы диагностирования. Под этим названием подразумевают диагностические методы, основанные на специальной обработке и анализе значений термогазодинамических и иных параметров, измеряемых на работающем двигателе [2,3].

Выбор метода идентификации

В настоящее время известен целый ряд методов идентификации, отличающихся по используемому критерию адекватности и опирающихся на различную априорную информацию. Например, в работе [1]

выделено четыре типа оценок:

1. Оценки по методу наименьших квадратов, которые не требуют никакой априорной информации об объекте и ошибках измерений.
2. Оценки по обобщенному методу наименьших квадратов, использующие ковариационную матрицу ошибок.
3. Оценки максимального правдоподобия, для вычисления которых необходимо знание распределения вероятности ошибок.
4. Байесовские оценки, опирающиеся дополнительно на знание априорных плотностей вероятностей неизвестных параметров модели.

В данной работе используется метод гребневых оценок (ридж-оценок).

В качестве объекта исследования был выбран двигатель TJ-100 чешского производства.

Двигатель TJ-100 является одновальным газотурбинным воздушно-реактивным двигателем с одноступенчатым компрессором, кольцевой камерой сгорания, одноступенчатой осевой турбиной и выхлопным (реактивным) соплом.

Таблица 1

Основные исходные параметры TJ-100

Частота вращения ротора двигателя%	R , H	Твых, К	Суд, кг/кн.ч
50	100	773.15	280
55	140	773.15	248
60	180	778.15	220
65	230	803.15	195
70	290	823.15	171
75	370	853.15	155
80	450	888.15	140
85	550	923.15	131
90	670	963.15	126
95	880	1013.15	125
100	1100	1073.15	127

Таблица 2

Результаты расчета по модели TJ-100 до идентификации

Частота вращения ротора двигателя%	R , H	Твых, К	Суд, кг/кн.ч
50	101	774.785	281.698
55	141	773.54	249.136
60	180	779.934	220.339
65	231	804.133	194.053
70	291	822.851	172.766
75	370	851.798	153.967
80	450	886.621	141.947
85	551	921.143	132.839
90	671	961.546	126.33
95	880	1013.751	124.928
100	1100	1073.14	126.25

Таблица 3

Параметры TJ-100 после проведения многорежимной идентификации

Частота вращения ротора двигателя%	R , H	Твых, К	Суд, кг/кн.ч
50	101	774.785	281.698
55	141	773.54	249.136
60	180	779.934	220.339
65	231	804.133	194.053
70	291	822.851	172.766
75	370	851.798	153.967
80	450	886.621	141.947
85	551	921.143	132.839
90	671	961.546	126.33
95	880	1013.751	124.928
100	1100	1073.14	126.25

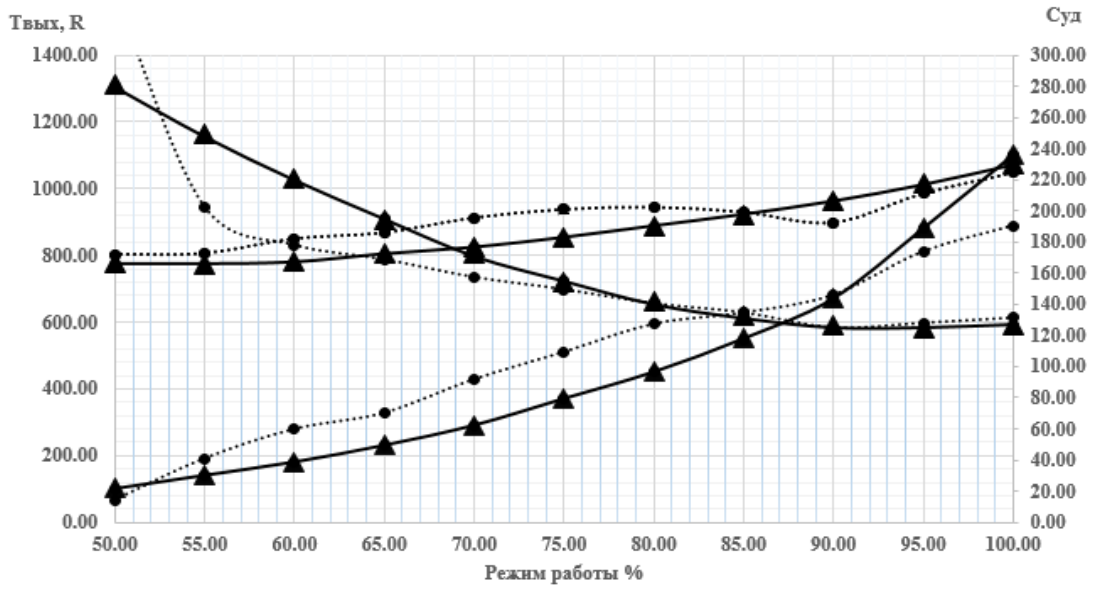


Рис. 1. Изменение параметров R, $T_{вых}$ и $C_{уд}$ в зависимости от режима работы:
——●—— – по документации;
----●---- – до идентификации;

▲ – после многорежимной идентификации осевой турбиной и выхлопным (реактивным) соплом.
Данные из технической документации TJ-100 приведены в табл. 1, результаты расчета по модели TJ-100 до идентификации – в табл. 2. В результате многорежимной идентификации математической модели TJ-100 получены следующие параметры (табл. 3)

Заключение

В процессе выполнения представленной научной работы разработаны:

– метод параметрической идентификации математической модели ГТД на установившихся режимах работы для определения характеристик компрессоров (вентиляторов) и турбин при их работы в системе ГТД.

– методики (обратные задачи термогазодинамического анализа) для оценки коэффициента восстановления полного давления и коэффициента полноты сгорания в камере сгорания при ее работе в системе ГТД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Цховребов М.М., Эзрохи А.Ю., Дрыгин А.С.* Применение идентифицированной математической модели газотурбинного двигателя для анализа результатов испытаний // Авиационные двигатели и силовые установки. ТОРУС ПРЕСС, 2010. С. 153–159.

2. *Кеба И.В.* Диагностика авиационных газотурбинных двигателей. М.: Транспорт, 1980. 248 с.

3. *Кофман В.М.* Метод параметрической идентификации математических моделей ГТД на установившихся режимах работы // Вестн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та, 2009. Т. 13, № 1(34). С. 57–65.

USING THE GENERAL CHARACTERISTICS OF A COMPRESSOR AND A TURBINE WHEN RECEIVING A MATHEMATICAL MODEL OF GTE TJ-100 FOR MULTI-MODE IDENTIFICATION

Ahmed Heersh Saleem A.
hersh_ise19@mail.ru
Supervisor: B. Osipov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Thermogasdynamic parameters are understood as parameters, Describing the thermodynamics of processes in the

flow part of the engine. These include temperature, pressure, airflow, gas, fuel, flow rate, rotor speed, thrust, etc. Non-thermogasdynamic parameters include pressure and oil temperature, fuel pressure, vibration levels, etc. Below, we consider the work related to the implementation of parametric methods of monitoring and diagnostics using thermogasdynamic parameters in steady state GTD operation modes.

УДК 533.2

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В КАНАЛЕ С ЛУНОЧНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА

Ахунов А.А.
ahunov.adel@yandex.ru
Научный руководитель: А.Л. Тукмаков, д-р физ.-мат. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Ввиду высоких требований к мощности, сроку службы и эффективности газоперекачивающих агрегатов особое внимание уделяется контролю радиальных и осевых зазоров. Чрезмерные зазоры могут привести к потерям эффективности рабочего цикла и нестабильности потока, при малых зазорах возможно стирание контактных поверхностей, перегрев и сокращение срока службы составных компонентов агрегата. В связи с постоянным ростом производительности вычислительной техники проведение расчетов базирующихся на методах вычислительной гидрогазодинамики является наиболее экономически выгодным способом при повышении производительности систем. В докладе предложена численная модель, описывающая течение газа в канале с прямоугольной лункой, создающей газодинамическое уплотнение между корпусом турбины и рабочей лопаткой газоперекачивающего агрегата.

С технической точки зрения расчет и производство различных форм луночных уплотнений представляет собой трудоемкий процесс. Постоянно пополняющиеся технические решения конструкций разнообразных уплотнителей, предотвращающих нежелательные перетоки рабочих сред свидетельствует о трудностях в разрешении заключенного в этом узле противоречия между требованиями экономичности (обеспечения минимальной протечки) и надежности (уменьшения опасности и облегчения последствий соударения вращающихся и неподвижных элементов) [1]. Принцип работы рассматриваемых в работе подобных уплотнений основан на торможении (завихрении) газа в узкой кольцевой щели с последующим расширением в смежной кольцевой камере большого объема. С помощью предложенной модели возможно провести расчет для канала любой геометрии.

В декартовых координатах в двумерной постановке система уравнений Навье- Стокса для вязкого сжимаемого теплопроводного газа имеет вид [2-4]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v)}{\partial y}=0 \quad ,$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho u^2+p-\tau_{xx}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\rho uv-\tau_{xy}\right)=0 \quad ,$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho uv-\tau_{xy}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\rho v^2+p-\tau_{yy}\right)=0 \quad , \qquad (1)$$

$$\frac{\partial(e)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\left[e+p-\tau_{xx}\right]u-\tau_{xy}v+\lambda\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\left[e+p-\tau_{yy}\right]v-\tau_{xy}u+\lambda\frac{\partial T}{\partial y}\right)=0 \quad ,$$

$$p=(\gamma-1)(e-\rho(u^2+v^2)/2), \quad e=I+\rho(u^2+v^2)/2$$

$$\tau_{xx}=(\mu+\mu_T)(2\frac{\partial u}{\partial x}-\frac{2}{3}D) \ , \ \tau_{yy}=(\mu+\mu_T)(2\frac{\partial u}{\partial y}-\frac{2}{3}D) \ ,$$

$$\tau_{xy} = (\mu + \mu_T)(\frac{\partial \mu}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}),\ D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}.$$

Здесь ρ, u, v, e, λ, μ – плотность, составляющие скорости газа, полная энергия, коэффициенты теплопроводности и молекулярной вязкости. В качестве термического уравнения состояния используется уравнение состояния идеального газа. Внутренняя энергия газа определяется как $I=RT/(\gamma-1)$. Температура находится из соотношения: $T=(\gamma-1)(e/\rho-0.5(u^2+v^2))/R$, где $R=c_p-c_v$ - газовая постоянная воздуха.

Физическая область течения описывается переменными (x, y). Расчетная область в переменных $(\xi,\ \eta)$ представляет собой единичный квадрат. Физическая область течения в переменных (x, y) отображается на единичный квадрат, в котором вводится равномерное разбиение по осям ξ, η. Расчетная область содержит N_j узлов в направлении ξ и N_k узлов в направлении η.

Система уравнений движения вязкого сжимаемого теплопроводного газа записывалась в обобщенных подвижных координатах и решалась с помощью явного метода Мак-Кормака второго порядка в обобщенных криволинейных координатах со схемой нелинейной коррекции. Переход на следующий временной слой на однородной сетке состоял из двух последовательных шагов предиктор и корректор [2, 3, 4]. Конечно- разностная сетка строилась методом Томпсона [2, 4]. Алгоритм построения внутренних узлов сетки формулировался в виде граничной задачи, для решения которой необходимо решить уравнения в частных производных в канонической расчетной области относительно x и y-координат узлов конечно- разностной сетки в физической области течения и задать положение узлов точек на границах расчетной области. В процессе построения сетки решались уравнения Пуассона для x и y- координат узлов конечно- разностной сетки в физической области течения.

В качестве рабочего тела рассматривался воздух. Расчет производился при следующих значениях физических величин: температуре воздуха T=300K, скорости V=25 м/с, плотности рабочего тела ρ=1,29 кг/м³. На рисунках 1, 2 представлены распределения давления и температуры в моменты времени t=0,00335 с, t=0,00886 с.

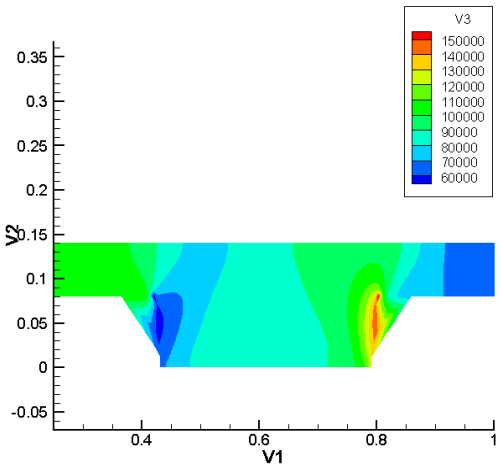


Рис. 1. График распределения давления в начальный момент времени t=0,00335 с

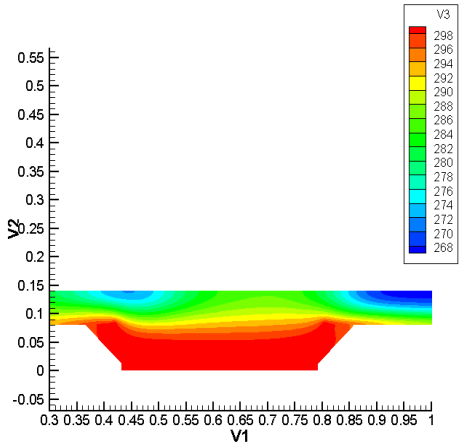
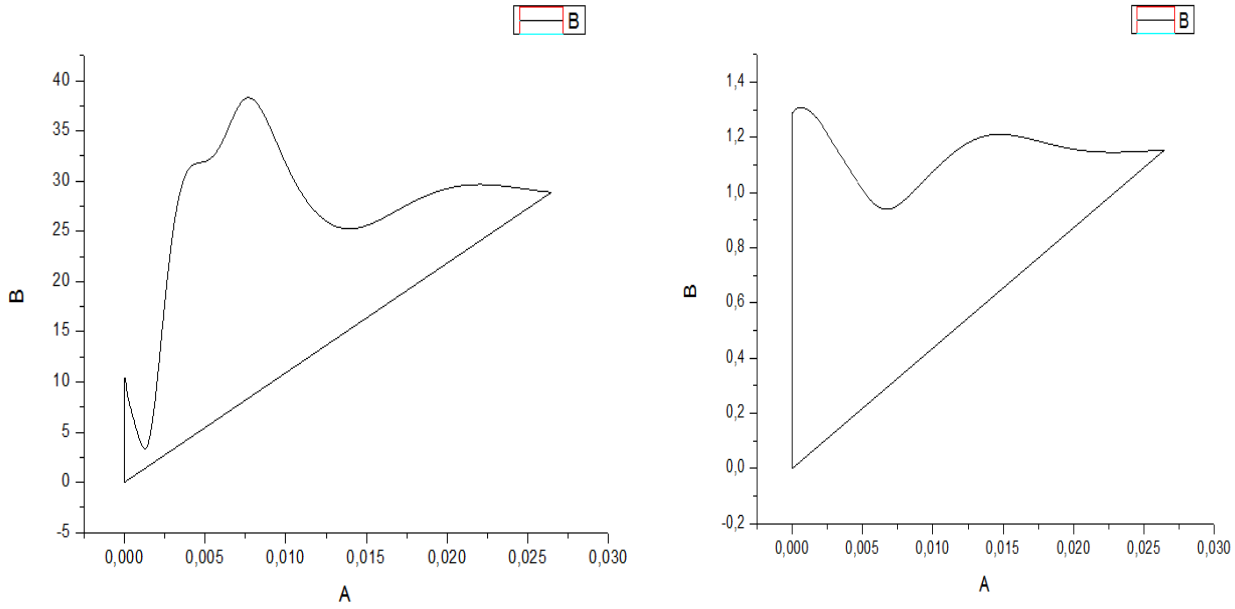


Рис. 2. График распределения температуры в момент времени t=0,00886 с



(а) (б)

Рис. 3. Графики значений скорости (а) и плотности (б) газа в зависимости от времени вдоль всего канала

В работе рассмотрена постановка задачи течения газа в одногребенчатом луночном уплотнении, приведены значения распределения скорости, давления, температуры и плотности вдоль всего канала. Для уменьшения назначаемых зазоров и снижения утечек необходим учет последовательно расположенных сужений и расширений. С помощью предложенной модели расчета задачи течения газа возможно провести расчет для канала любой геометрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Копей Б.В.* Усовершенствование лабиринтного узла уплотнения "газ - масло" газоперекачивающего агрегата / Б.В. Копей, А. Беллауар, В.Б. Копей // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2009. – № 1(30). – С. 79–87.

2. *Флетчер К.* Вычислительные методы в динамике жидкостей. М.: Мир, 1991. Т.2. 551 с.

3. *MacCormak R.W.* Current status of numerical solutions of the Navier-Stokes equations//AIAA Paper 85-0032.

4. *Тукмаков А.Л.* Зависимость механизма дрейфа твердой частицы в нелинейном волновом поле от ее постоянной времени и длительности прохождения волновых фронтов // Прикладная механика и техническая физика. 2011. Т.52, №4. С.109-115.

NUMERICAL SIMULATION OF GAS FLOW IN A WELL-SEALED CHANNEL OF A GAS PUMPING UNIT

Ahunov A.
ahunov.adel@yandex.ru
Supervisor: A. Tukmakov, Doctor of Physico-Mathematical Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan*)

Due to the high requirements for the power, service life and efficiency of gas pumping units, special attention is paid to the control of radial and axial clearances. Excessive clearances can lead to losses of efficiency of the working cycle and instability of the flow, with small clearances contact surfaces may be erased, overheating and shortening the service life of the components of the unit. Due to the constant increase in the productivity of computer technology, calculations based on the methods of computational fluid dynamics is the most cost-effective way to increase the performance of systems. The paper proposes a numerical model describing the flow of gas in a channel with a rectangular bar that creates a gas-dynamic seal between the turbine body and the working blade of the gas-pumping unit.

УДК 629.036

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫПУСКА ОХЛАДИТЕЛЯ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТЕРЬ

Бузин В.М., Акунец М.В.
buzin98@mail.ru
Научный руководитель: А.А. Волков
(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара)

В данной работе описан процесс создания численной модели охлаждаемого соплового аппарата. Данные для построения геометрической и численной модели были взяты из отчёта NASA. Построение сеточной модели ,настройка решателя и анализ результатов производился в программном пакете NUMECA. При создании численной модели использовалась функция моделирования выдувов охлаждения непосредственно с граней элементов сеточной модели Cooling/Bleed.

Одним из основных направлений развития ГТД является повышение температуры рабочего тела перед турбиной. Это позволяет существенно повысить удельную тягу двигателя или же уменьшить его габариты и массу. Но вместе с тем возникает необходимость в обеспечении надёжной работы турбины на температурах, превышающих допустимые значения для материалов, используемых в конструкции турбины. По этой причине в ГТД стремятся реализовать эффективные системы охлаждения.

В современном авиационном двигателестроении с достаточно высокой скоростью растёт применение численного моделирования из-за возможности его использования для проведения сложных газодинамических расчетов. Проблема дороговизны исследований и времени проектирования остается актуальной, и именно численное моделирование позволяет существенно приблизиться к решению данной проблемы.

Но обеспечение достаточной точности численного моделирования всё ещё требует значительных вычислительных ресурсов из-за сложности моделей (рисунок 1). По этой причине создание более простых численных моделей или альтернативных способов численного моделирования, обеспечивающих достаточную точность расчетов, является перспективным направлением развития компьютерного моделирования. Цель данной работы заключается в создании и верификации упрощенной численной модели охлаждаемого соплового аппарата ГТД, обеспечивающей приемлемую точность результатов.

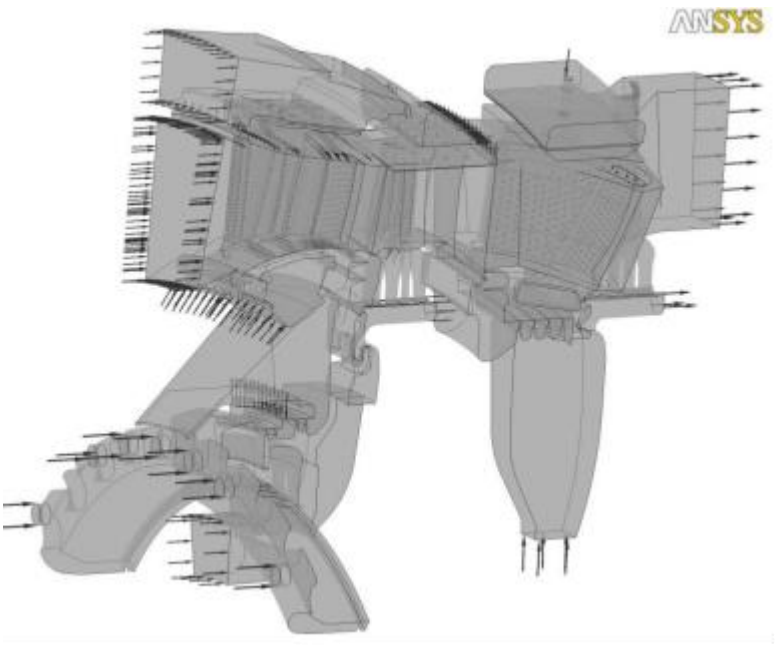


Рис. 1. Расчётная схема ТВД [1]

В нашем случае главным помощником в создании упрощенной модели является функция программного комплекса NUMECA FINE/Turbo под названием Cooling/Bleed. Принцип ей действия заключается в моделировании выдувов охлаждения непосредственно с граней элементов сеточной модели без необходимости реализации геометрии охлаждающих отверстий. После настройки функции на сплошных стенках модели создаются дополнительные источники массы, импульса и энергии (рисунок 2).

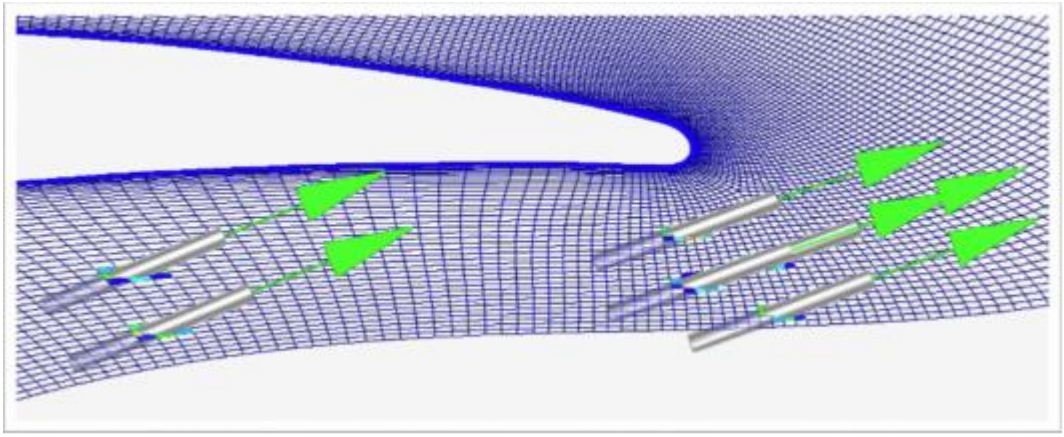


Рис. 2. Представление выдувов программой после настройки функции Cooling/Bleed

Работа началась с исследования отчёта TM X-73568 эксперимента NASA по продувке охлаждаемого соплового аппарата [2]. Из отчёта были получены результаты эксперимента, с которыми далее было проведено сравнение, координаты точек профиля лопатки, координаты положения охлаждающих отверстий и направления выдувов из них (рисунок 3).

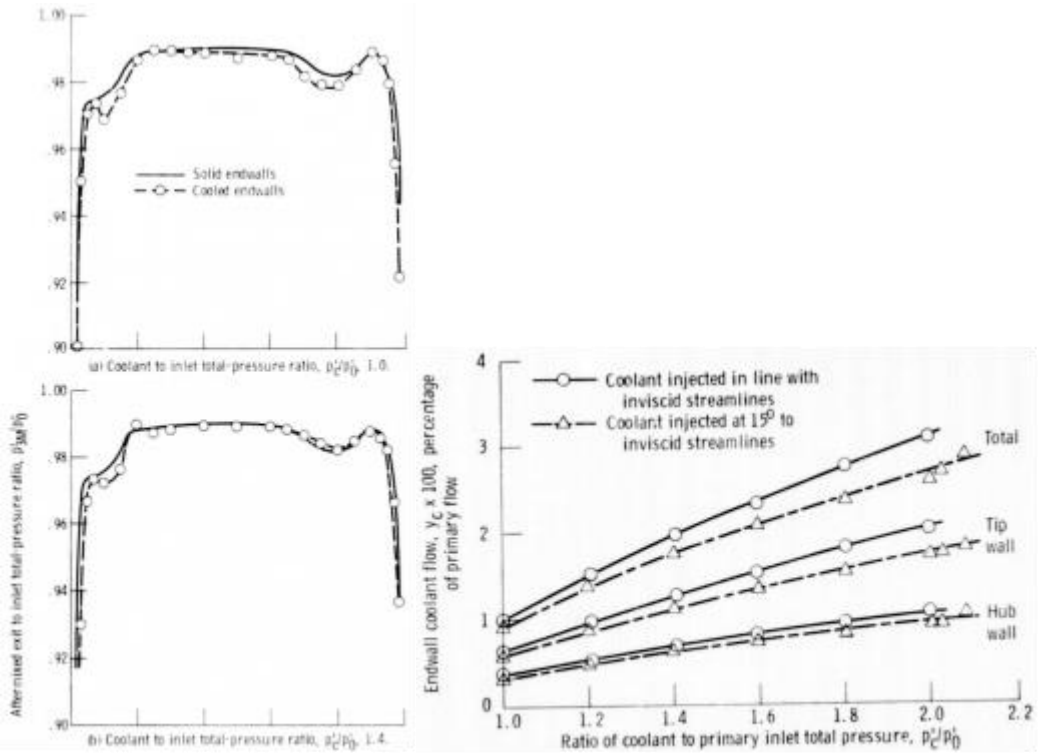


Рис. 3. Данные отчёта по результатам эксперимента

С использованием приведенных в отчёте данных была построена геометрия лопатки в программе Profiler (рисунок 4). Далее геометрия была перенесена в модуль NUMECA AutoGrid 5, где была сформирована сеточная модель.

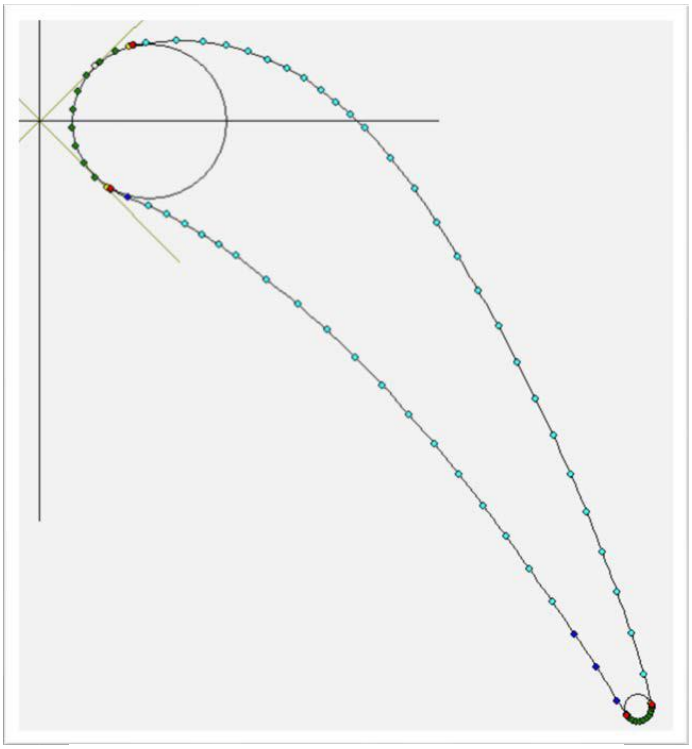


Рис. 4. Построенная геометрия профиля лопатки

Параметры сеточной модели:

- Количество элементов ≈ 2 млн.;
- Expansion ratio ≈ 1.2;
- Aspect ratio ≈ 1000;

- $y+ \approx 1$.

Заключительный этап настройки численной модели и её расчёт осуществлялись в модуле NUMECA FINE/Turbo (рисунки 5, 6):

- Модель турбулентности – Spalart-Allmaras;
- Рабочее тело – воздух (реальный);
- Граничные условия на входе – полное давление и полная температура;
- Граничные условия на выходе – статическое давление;
- Граничные условия охлаждающих отверстий – диаметр отверстий, полная температура и расход через отверстия.

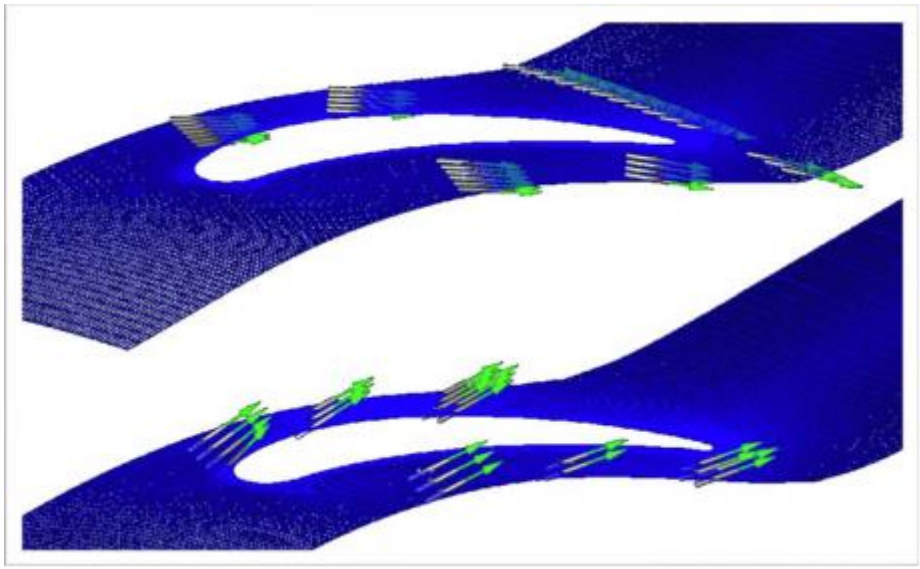


Рис. 5. Смоделированные выдувы охлаждающих отверстий



Рис. 6. Итоговый вид расчётной области

Следует отметить, что в отчёте NASA[2] даны результаты продувки на различных отношениях полного давления охлаждающего потока к полному давлению основного потока на входе. Но функция Cooling/Bleed не позволяет задавать ни полное, ни статическое давление охлаждающего потока, поэтому в представленной работе данный параметр выдерживался путём подбора значений расхода через охлаждающие отверстия, обеспечивающих необходимые величины параметра.

Для анализа полученных результатов отобразим линии тока охлаждающего потока (рисунок 7), также построим зависимости эффективности решётки по высоте проточной части (рисунок 8) и зависимости процентного отношения расхода через охлаждающие

отверстия от отношения полного давления охлаждающего потока к полному давлению основного потока на входе (рисунок 9):

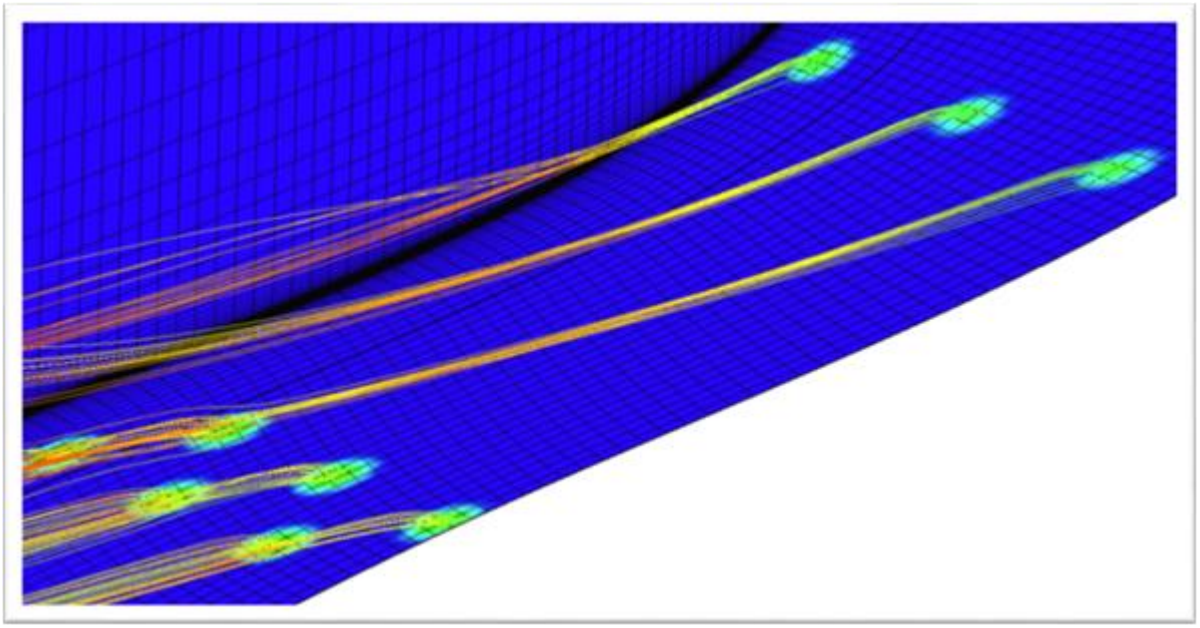


Рис. 7. Линии тока охлаждающего потока

Анализ полученных результатов позволяет наблюдать их качественное совпадение с экспериментальными данными, таким образом можно сделать вывод о достоверности созданной численной модели.

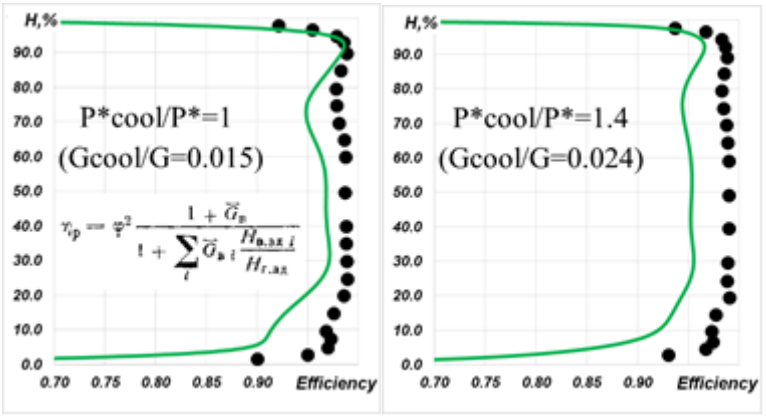


Рис. 8. Эффективность решётки по высоте проточной части

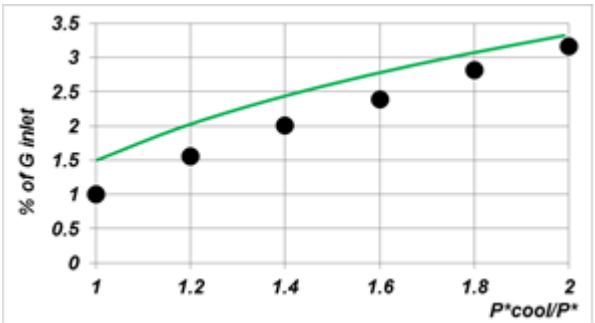


Рис. 9. Зависимость процентного отношения расхода через охлаждающие отверстия от отношения полного давления охлаждающего потока к полному давлению основного потока на входе

В заключение хотелось бы отметить, что:

- данный подход позволяет получить результаты, качественно повторяющие

экспериментальные;

- настройка модели достаточно проста;
- количество необходимых вычислительных ресурсов компьютера существенно ниже, чем при “прямом” численном моделировании.

Исходя из этого можно заявить о имеющейся возможности проведения оптимизации плёночного охлаждения при полной автономности процесса и малой запрашиваемой мощности компьютера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Сендюрев С.И.* Современные системы охлаждения сопловых лопаток высоконагруженных газовых турбин / Тихонов А.С., Хайрулин В.Т // Аэрокосмическая техника. – 2015. – С.35 - 38.

2. Effect of endwall cooling on secondary flows in turbine stator vanes / National Aeronautic and Space Administration; G.Medic.- Washington D.C.,1977. № NASA TM X-73568

ANALYSIS OF THE CO OLING INTAKE INFLUENCE ON THE LOSS MAGNITUDE

Buzin V., Akunets M.
buzin98@mail.ru
Supervisor: A. Volkov
(Samara National Research University. Samara)

This paper describes the process of creating a cooled nozzle apparatus numerical model. The data for the creating of the geometric and numerical models were taken from the NASA report. The modeling of the grid model, the adjustment of the solver and the analysis of the results were performed in the NUMECA software. When creating a numerical model, we used the function of cooling blowing modeling directly from the edges of the grid model elements Cooling / Bleed.

УДК 629.036

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ СОПЛОВОГО АППАРАТА НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА

Волков А.А, Акунец М.В., Бузин В.М.
akunetsm@list.ru
Научный руководитель: Г.М. Попов, канд. техн. наук, доцент
(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара)

В данной работе описан процесс создания численной модели и влияние параметров сеточной модели и решателя на точность расчётов. Данные для построения геометрической и численной модели были взяты из отчёта NASA. Построение сеточной модели ,настройка решателя и анализ результатов производился в программном пакете NUMECA.

В современном авиационном двигателестроении при моделировании рабочего процесса турбины широко применяются численные модели, посредством которых решаются задачи газодинамики. Однако модели, стремящиеся наиболее точно описать физические процессы, требуют большое количество вычислительных ресурсов, и в настоящее время актуальной проблемой является сокращение требуемых вычислительных мощностей с сохранением достаточной точности численной модели. Поэтому возникает необходимость верификации полученных результатов и определении зависимостей искомой расчетной характеристики от значений параметров численной модели, в чём и заключается цель данной работы.

При создании численной модели наибольшее влияние на точность и скорость расчета оказывают параметры сеточной модели, а также настройки решателя (в частности, модели

турбулентности). Поэтому в данной работе было исследовано влияние именно этих параметров на точность расчёта.

Работа началась с изучения отчёта NASA с экспериментальными данными продувки неохлаждаемого соплового аппарата [1]. С использованием приведенных в отчёте данных были сформированы геометрии лопатки и расчётной области, представленной на рисунке 1.

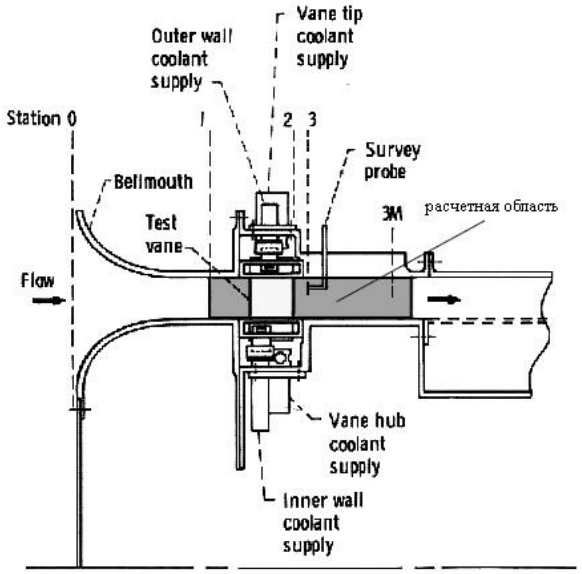


Рис. 1. Экспериментальная установка и геометрическое представление расчетной области

В программном пакете NUMECA AutoGrid5 были созданы несколько групп сеточных моделей, различающиеся количеством элементов двумерной сетки межлопаточного канала (B2B сетка), значением y+ и значением величин expansion ratio (ER) и aspect ratio (AR)[2,3,4].

Дальнейшая работа осуществлялась в программном пакете NUMECA FINE/Turbo. Расчётная область определялась: на входе – значениями полного давления и температуры при стандартных атмосферных условиях; на выходе – значением статического давления. Модель рабочего тела – воздух (реальный). Модели турбулентности, применяемые при создании численных моделей: Spalart-Allmaras, k-omega, k-epsilon, SST.

Далее была выполнена серия расчётов на группах численных моделей. В пределах каждой группы изменялся один исследуемый параметр (B2B сетка, y+, ER, AR, модель турбулентности), при постоянных остальных параметрах.

Результаты расчетов были обработаны в CFView.Расчетной характеристикой, на основе которого сравнивались сетки, являлся коэффициент скорости (efficiency). Коэффициент скорости определялся по параметрам потока, в сечении, расположение которого было обусловлено расположением датчиков в экспериментальной установке.

По данным, полученным после обработки результатов, были сформированы: несколько серий характеристик зависимости коэффициента скорости от приведенной скорости (пример одной из зависимостей представлен на рисунке 2); графики зависимости величины коэффициента скорости и отношения статического давления к полному по высоте лопатки; графики изменения коэффициента скорости от параметра численной модели(B2B сетка, y+, ER, AR, модель турбулентности).

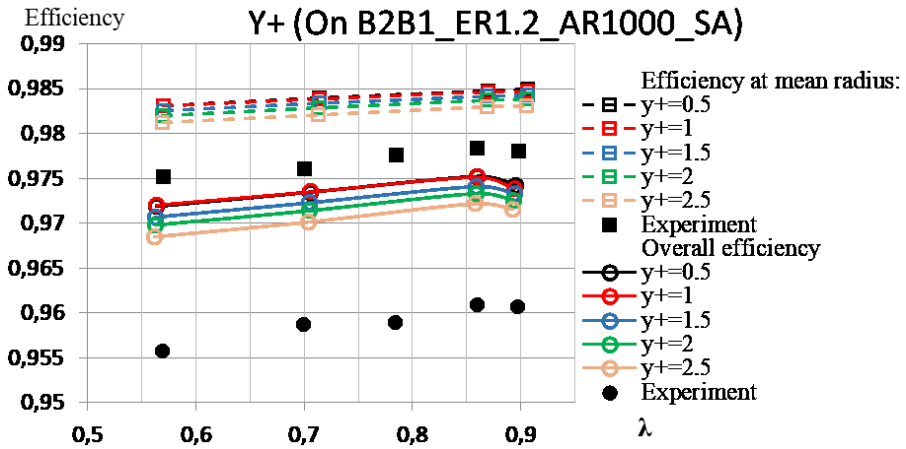


Рис. 2. Зависимости коэффициента скорости (efficiency)
от приведенной скорости при разных значениях y+

На основе анализа обработанных результатов был сделан ряд выводов, связанных с верификацией численной модели:

– Экспериментальные данные характеристики зависимости коэффициента скорости от приведенной скорости качественно повторяются, в свою очередь, следует отметить количественное расхождение в 0,4-2%;

– Экспериментальные данные величины коэффициента скорости и отношения статического давления к полному по высоте проточной части также качественно повторяются. Количественное расхождение по величине профильных потерь в пределах 1%.

– Величина вторичных потерь по высоте проточной части разнится от модели к модели, но полного совпадения получить не удалось.

Также были сделаны выводы о влиянии параметров численной модели на точность расчётов:

– Увеличение количества элементов в blade-to-blade сечении позволило получить значимый прирост в точности определения вторичных потерь лишь при значениях приведенной скорости более 0,85. Точность определения профильных потерь изменялась несущественно;

– Было выявлено, что уменьшение величины y+ менее единицы нецелесообразно, т.к. точность расчёта при этом не изменяется.(Рисунок 3)

– Изменение величины aspect ratio не дало существенных результатов;

– Точность определения профильных потерь изменялась несущественно при изменении величины expansion ratio. В свою очередь, меньшее значение expansion ratio позволило с большей точностью определить вторичные потери;

– Среди рассмотренных моделей турбулентности (Spalart-Allmaras, k-omega, k-epsilon, SST) наиболее приближенные результаты позволила получить модель турбулентности k-omega;

В дальнейшем предполагается использование результатов исследования для создания оптимальной численной модели охлаждаемого соплового аппарата и сравнение его характеристик с данной моделью.

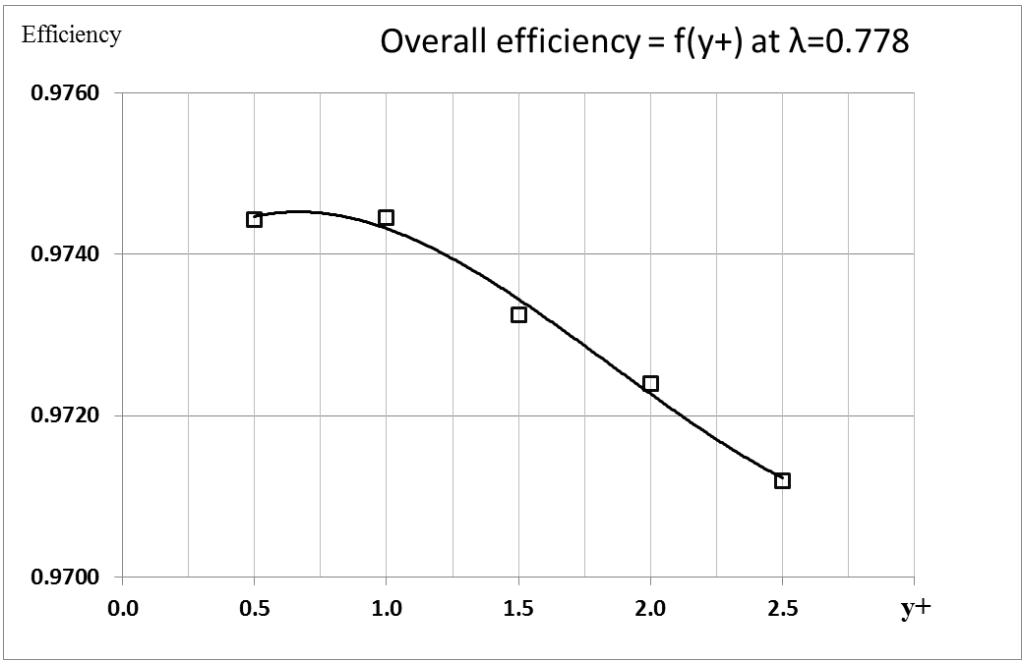


Рис. 3. Влияние параметра y+ на величину эффективности соплового аппарата

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Cold-air annular-cascade investigation of aerodynamic performance of core-engine-cooled turbine vanes / National Aeronautic and Space Administration; G.Medic.- Washington D.C.,1975. № NASA TM X-3224

2. *Popov G.* Selection of Parameters for Blade-To-blade Finite-volume Mesh for CFD Simulation of Axial Turbines / Matveev V., Baturin O. etc // MATEC Web of Conferences. – 2018. – С.1 - 8.

3. *Popov G.* Selection of Parameters for 3D Finite-volume Mesh for CFD Simulation of Axial Turbines / Matveev V., Baturin O. etc // MATEC Web of Conferences. – 2015. – С.1 - 6.4. Попов

4. *Попов Г.М.* Методы формирования численных моделей рабочего процесса осевых неохлаждаемых авиационных турбин [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.07.05 / Попов Григорий Михайлович. – Самара, 2017. – 109 с.

ANALYSIS OF THE NUMERICAL MODEL GTE TURBINE NOZZLE SETTINGS INFLUENCE ON THE CALCULATION

Volkov A., Akunets. M., Buzin V.
akunetsm@list.ru
Supervisor: G. Popov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor
(Samara National Research University. Samara)

This paper describes the process of creating a numerical model and the influence of the grid model and the solver parameters on the accuracy of calculations. The data for the creating of the geometric and numerical models were taken from the NASA report. The formation of the grid model, the adjustment of the solver and the analysis of the results were performed in the NUMECA software.

УДК 626.62-69

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА СИСТЕМЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Гарифуллин К.И., Березин В.В, Калимуллин Р.Р.
garifullin.karim@mail.ru
Научный руководитель: Р.Р. Салахов, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

На сегодняшний день система рециркуляции отработавших газов в более модернизированных версиях содержит в себе теплообменный аппарат, который не всегда работает эффективно. Поэтому в данной работе исследуются рабочие параметров теплообменника системы рециркуляции.

Система рециркуляции отработавших газов уменьшает количество оксидов азота, содержащихся в выхлопных газах двигателя внутреннего сгорания . В данной системе применение теплообменника увеличивает эффективности ее работы. Из всех применяемых сегодня типов системы рециркуляции была выбрана система низкого давления, так как она применяется на большинство грузовых автомобилях в России и в ней установлен теплообменник охлаждения отработавших газов, характеристики которого будут исследоваться [1].

Теплообменник охлаждения отработавших газов в системе рециркуляции охлаждает отработавшие газы перед их подачей во впускной коллектор. В качестве теплообменника охлаждения отработавших газов используют рекуперативные кожухотрубчатые теплообменные аппараты(ТА) имеющие плоские или цилиндрические трубки. Оптимальная температура отработавших газов на выходе из теплообменника 130 °C [2].

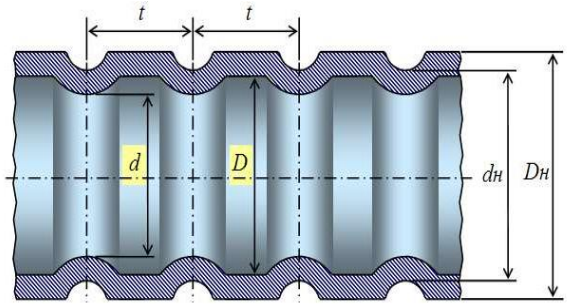


Рис. 1. Кольцевые выступы

В качестве меры интенсификации будет применяться тип интенсификации кольцевые выступы, так как по результатам НИР Попова и Скрыпника кольцевые выступы являются самым эффективным типом интенсификации для кожухотрубчатого теплообменника типа вода воздух (см.рис.1), что даст возможность оценить влияние мер интенсификации теплообмена в трубках теплообменника[3].

Были рассчитаны два теплообменника с разной конструкцией, чтобы оценить влияние формы трубок на теплообмен в ТА. Для этого были созданы две трехмерные модели теплообменников и их доменные области в CAD программе NX Siemens. Первая модель кожухотрубчатого теплообменника с плоскими трубками в количестве 70 штук, а вторая модель теплообменника с трубками круглой формы в количестве 45 штук (см.рис 2).

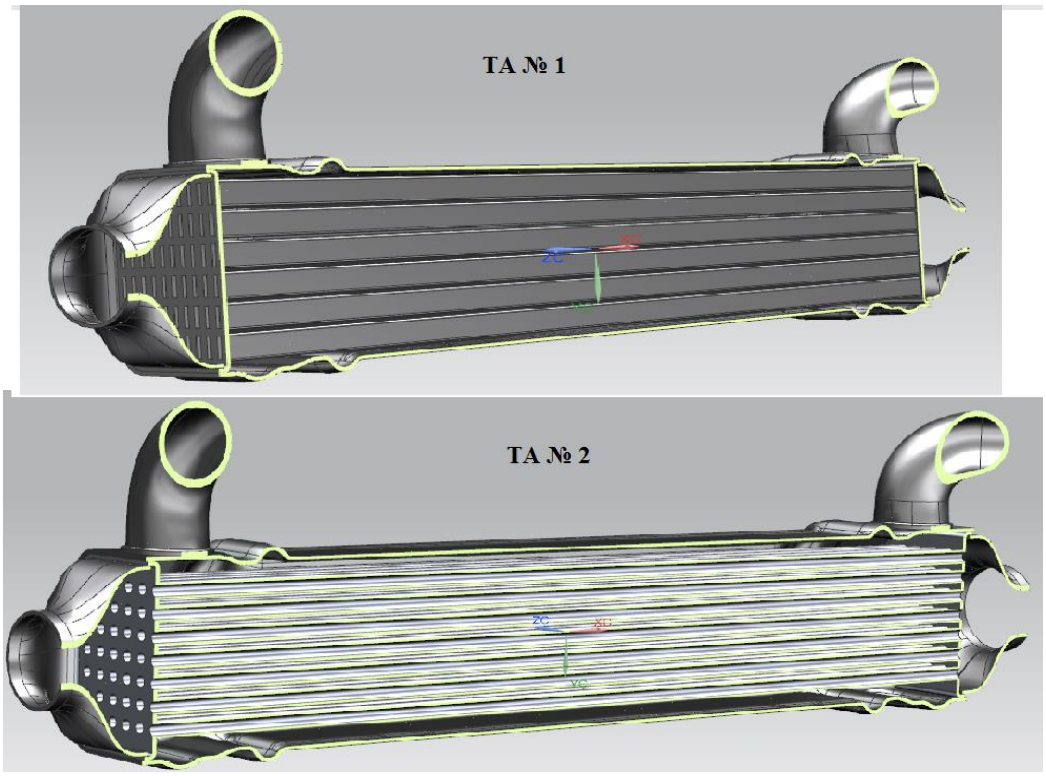


Рис. 2. Теплообменные аппараты № 1 и № 2

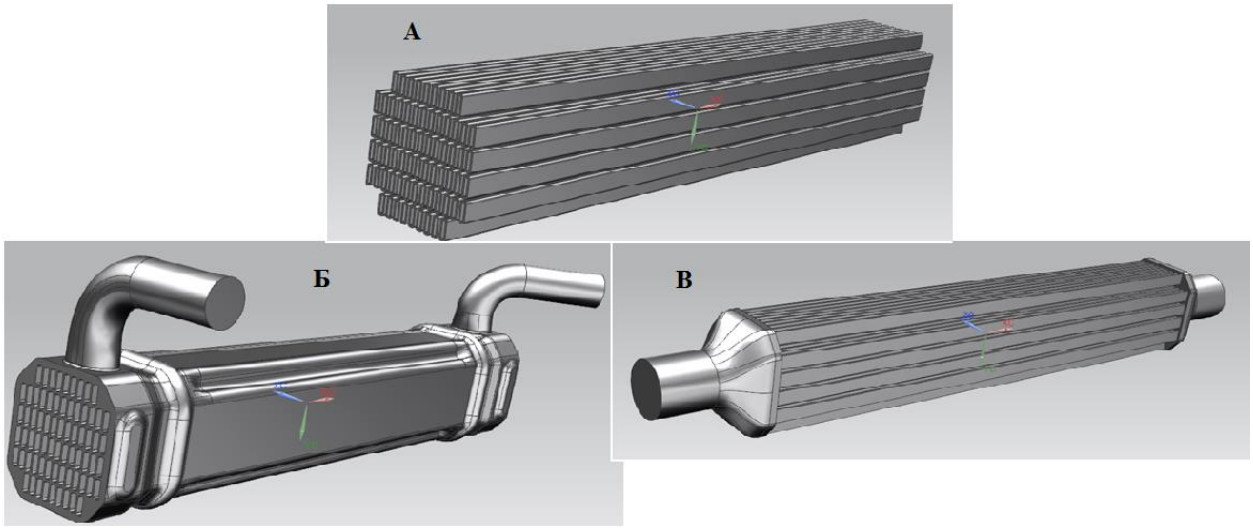


Рис. 3. Доменные области ТА № 1

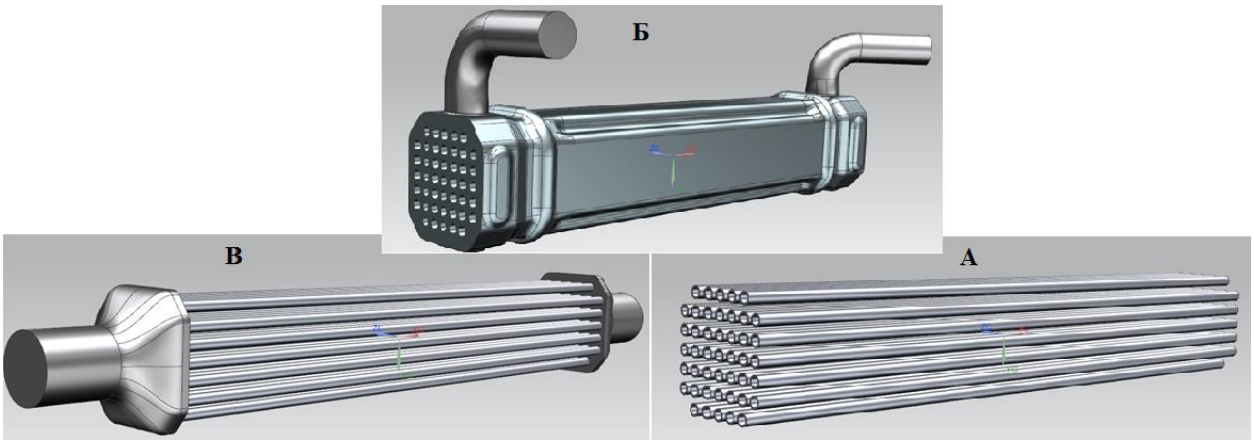


Рис. 4. Доменные области ТА № 2

Доменные области обоих теплообменников состоят из области жидкости(см.рис.4б и 3б), области газа(см.рис.4в и 3в), области стенок(см.рис.4а и 3а). Расчетные сетки, показанные на рис.5, строились в сеточном генераторе Ansys Meshing с параметрами, как в таблице 1.

Таблица 1

Входные и выходные граничные условия для антифриза и азота

Расчетная сетка	ТА № 1	ТА № 2
метод	Patch Conforming	
Тип элемента	тетраэдр	
Размер элемента	0,5 мм	
Кол-во узлов	6791706	5448881
Кол-во элементов	28265211	22667338

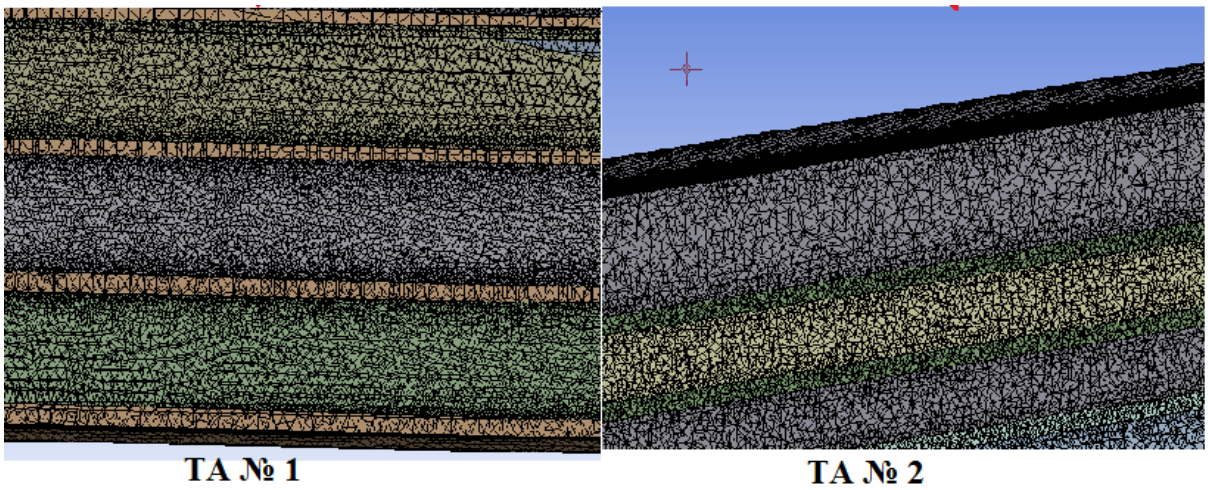


Рис. 5. Расчетные сетки ТА № 1 и № 2

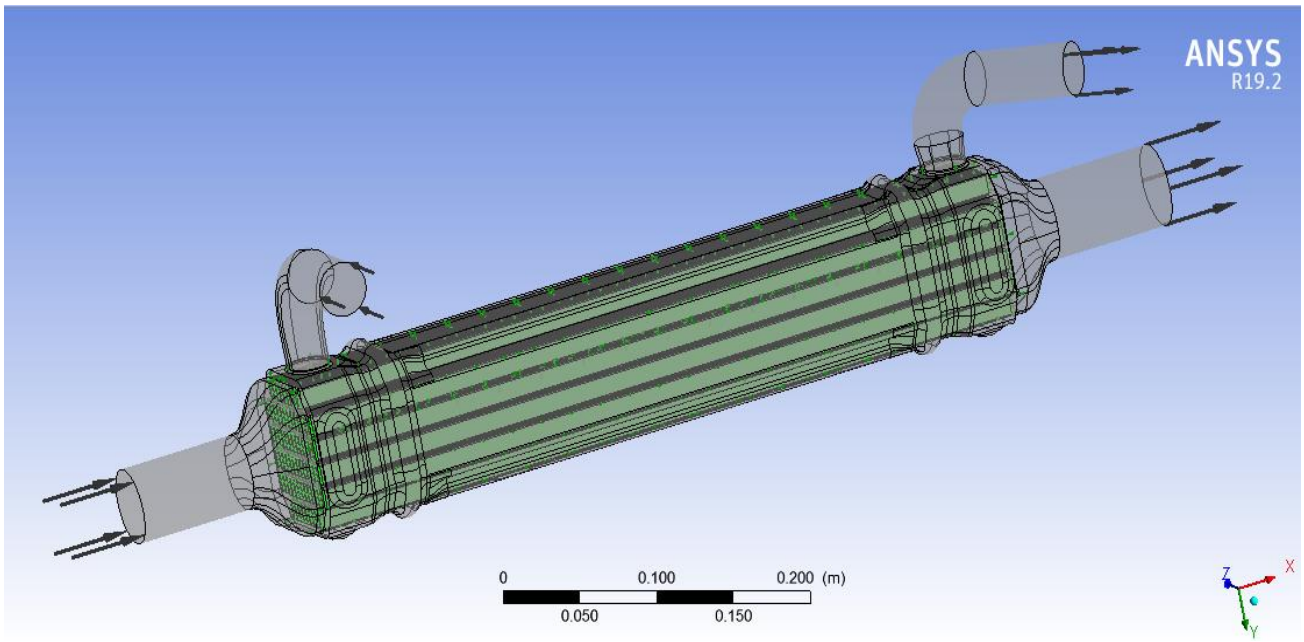


Рис. 6. Вычислительная модель ТА № 1

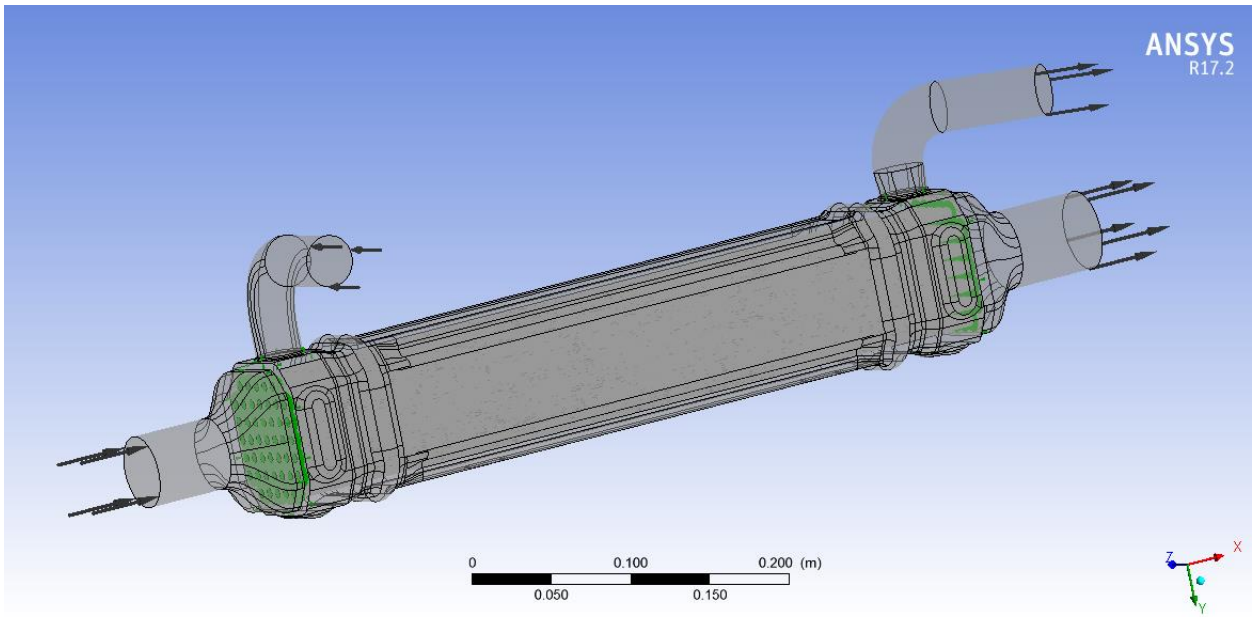


Рис. 7. Вычислительные модели ТА № 2

Дальше были сделаны вычислительные модели теплообменников №1 и № 2(см.рис.6 и 7) . Первым рабочим телом является антифриз с теплофизические свойства как при 95 °С[4]. Вторым рабочим телом является азот [5]. Входные и выходные граничные условия для антифриза и азота представлены в таблице 2.

Таблица 2

Входные и выходные граничные условия для антифриза и азота

Граничные условия	$T_{вх}$,°С	$G_{вх}$, кг/с	$P_{ст.вых}$, Па	Модель турбулентности
антифриз	95	3,89	0	k-ε
азот	750	0,11		

Расчеты проводились в программном комплексе Ansys CFX. Результаты расчетов ТА № 1 И ТА № 2 представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты проведенных расчетов

Теплообменник	$T_{вых}$ азота,°С	ΔР азота,кПа	Тепловая мощность, кВт
№ 1	134	24,1	83,5
№ 2	532	26,3	28,7

По ним выясняется, что второму теплообменнику с круглыми трубками необходимо произвести интенсификацию теплообмена ,так как выходная температура азота ТА № 2 больше чем у ТА № 1 с оптимальной температурой азота на выходе, а его тепловая мощность меньше, чем у ТА № 1.

Был проведен проверочный расчет интенсифицированного ТА № 2 с параметрами расчетной сетки и вычислительной модели, как в предыдущих двух расчетах.

Таблица 4

Результаты расчета ТА № 2 после интенсификации

Теплообменник	$T_{вых}$ азота,°С	ΔР азота, кПа	Тепловая мощность, кВт
№ 2	137	39,45	83,3

Если сравнить результаты расчета ТА № 2 до интенсификации в таблице 3 и после

интенсификации в таблице 4, то можно сказать ,что выходная температура азота у него после интенсификации почти сравнялась с выходной температурой азота ТА № 1, а его тепловая мощность возросла с 28,7 кВт до 83,3 кВт, т.е на 65,5 %.

В процессе исследования рабочих параметров теплообменного аппарата системы рециркуляции отработавших газов выяснилось, что, газожидкостный кожухотрубчатый теплообменный аппарат системы рециркуляции с круглыми трубками имеет недостаточную тепловую мощность по сравнению с таким же имеющим плоские трубки теплообменным аппаратом системы рециркуляции, а применение в роли интенсификаторов теплообмена кольцевых выступов увеличивает тепловую мощность этого теплообменного аппарата на 65,5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1.Назначение системы EGR и особенности ее работы)/ [Электронный ресурс] / URL:https://techautoport.ru/dvigatel/vypusknaya-sistema/sistema-egr.html

2.Отчет КАИ по системе рециркуляции отработавших газов № 1,2013- 102 с.

3.*Попов И.А., Щелчков А.В., Яркаев М.З., Аль-Джанаби А.Х.А., Скрыпник А.Н.* Теплообменные аппараты с интенсификацией теплоотдачи // Энергетика Татарстана, №1, 2014. с.10-16.

4.Антифризы на основе этилен- и пропиленгликолей и ВОДА. Температуры замерзания. Вязкости. Плотности. Теплоемкости./ [Электронный ресурс] / URL: https://tehtab.ru/Guide/GuideMedias/Antifreeze/GuideEPAntifreesesAndWater/

5.Выхлопные газы/ [Электронный ресурс] / URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8B%D1%85%D0%BB%D0%BE%D0%BF%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B3%D0%B0%D0%B7%D1%8B/

RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF THE HEAT EXCHANGER OF THE EXHAUST GAS RECIRCULATION SYSTEM

Garifullin K., Berezin V., Kalimullin R.

garifullin.karim@mail.ru

Supervisor: R. Salakhov, Candidate of Technical Sciences

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

To date, the exhaust gas recirculation system in more modernized versions contains a heat exchanger, which does not always work efficiently. Therefore, in this paper, the working parameters of the heat exchanger of the recirculation system are investigated.

УДК 526.25

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СВОБОДНО-КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛООТДАЧИ КРУГЛОРЕБРИСТОЙ ТРУБЫ И ОДНОРЯДНОГО ПУЧКА ИЗ ЭТИХ ТРУБ С РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТОЙ ОРЕБРЕНИЯ

Данильчик Е.С.

katya.156.156@gmail.com

Научный руководитель: А.Б. Сухоцкий, канд. техн. наук, доцент

(Белорусский государственный технологический университет, г. Минск)

В статье представлено исследование влияния высоты оребрения круглоребристой трубы на свободно-конвективный и интенсифицированный теплообмен горизонтально расположенных одиночной круглоребристой трубы и однорядного пучка из шести таких труб с шагом $S_1 = 64$ мм (относительным шагом $\sigma_1 = S_1 / d = 1{,}140$). Теплоотдача одиночной трубы при уменьшении высоты ребра с $h_1 = 14{,}6$ мм до $h_2 = 12$ мм увеличилась в 1,4 раза, а теплоотдача однорядного пучка с $\sigma_1 = 1{,}140$, соответственно в 1,2 раза. Установка шахты прямоугольного основания над однорядным пучком с $\sigma_1 = 1{,}140$ при различных высотах оребрения труб способствует увеличению

теплоотдачи в 1,2–3,2 раза, а установка шахты с цилиндрической трубой – в 1,3–1,6 раза, кроме шахты с H = 0,52 м и $d_{отв}$ = 0,105 м. Также, проведена оценка данных поверхностей теплообмена в режимах свободной и смешанной конвекции по объемной тепловой плотности и по объемной по алюминию плотности теплового потока. Определено, что наиболее энергетически выгодной и экономически целесообразной по использованию алюминиевого оребрения, является высота ребра круглоребристой трубы h_2 = 12 мм.

Свободно-конвективный теплообмен применяется во многих отраслях промышленности. В основном в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, газовой и пищевой промышленности, также на автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях, в тепло- и электроэнергетике, в холодильной технике, на атомных станциях, при нагреве агента сушки влажных материалов, в системах вентиляции и воздушного отопления зданий [1, 2].

Преимуществами воздухоохлаждаемых теплообменников в режиме свободной конвекции являются: – энергосбережение (экономия электроэнергии); – улучшение охраны окружающей среды (экономия охлаждающей воды и экологическая чистота); – повышение в ряде случаев надежности эксплуатации энергетических установок. Все это очень актуально в эпоху ресурсо- и энергосбережения, в которой мы сейчас находимся.

Основным недостатком свободно-конвективного режима является низкая интенсивность теплообмена по сравнению с вынужденной конвекцией (невысокие коэффициенты теплоотдачи). Но этот недостаток обычно компенсируется увеличением теплоотдающей площади, а именно оребрением поверхности теплообмена.

К сожалению, область температур окружающего воздуха, при которых возможно применение воздухоохлаждаемых теплообменников в условиях свободной конвекции, ограничена. Но при оснащении их дополнительными устройствами, позволяющими интенсифицировать свободную конвекцию, теплопроизводительность теплообменника может оставаться стабильной при более высоких температурах окружающего воздуха без потребления электроэнергии приводом вентилятора. Одним из таких устройств без затрат на электроэнергию, является вытяжная шахта, установленная над воздухоохлаждаемым теплообменником для усиления тяги воздуха.

Для изучения влияния высоты оребрения круглоребристой трубы на свободно-конвективный и интенсифицированный теплообмен было проведено экспериментальное исследование горизонтально расположенных одиночной круглоребристой трубы и однорядного пучка из шести (m = 6 шт.) таких труб с поперечным шагом S_1 = 64 мм (относительным поперечным шагом $\sigma_1 = S_1 / d$ = 1,140). Геометрические размеры биметаллической оребренной трубы со спиральными накатными ребрами следующие: наружный диаметр d = 56 мм; диаметр трубы по основанию d_0 = 26,8 мм; высота ребра h = 14,6 мм; шаг ребра s = 2,5 мм; средняя толщина ребра Δ = 0,5 мм; длина трубы $l_п$ = 330 мм (теплоотдающая длина l = 300 мм), коэффициент оребрения трубы φ = 19,26. Материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей трубы – углеродистая сталь. Диаметр несущей трубы $d_н$ = 25 мм, толщина стенки δ = 2 мм. Внутрь несущей трубы соосно с помощью центровочного кольца вставлен, изготовленный на ОАО «Минский завод тэнов», стальной теплоэлектронагреватель (ТЭН) диаметром $d_{ТЭН}$ = 12,5 мм, мощностью 320 Вт. Для устранения внутренних конвективных токов воздуха и равномерного прогрева трубы между ТЭНом и стенкой засыпался кварцевый песок дисперсным составом 0,16−0,32 мм. Для снижения торцевых потерь на концах одиночной трубы устанавливались фторопластовые втулки, а торцевые потери однорядного пучка устранялись с помощью теплоизолирующего короба с минеральной ватой.

Для изменения высоты оребрения труб ребра стачивались до высоты h = 12 мм, соответственно наружный диаметр труб составил d = 50,8 мм, а коэффициент оребрения φ = 15,08 (трубы в однорядном пучке с другой высотой ребра располагались также с относительным поперечным шагом σ_1 = 1,140).

Для интенсификации свободно-конвективного теплообмена над поверхностью однорядного пучка, описанного выше, устанавливались два вида шахт – с регулируемым проходным сечением и регулируемой высотой [2].

Первым типом являлась шахта с регулируемым проходным сечением, представляющая собой параллелепипед из фанеры толщиной 0,004 м с прямоугольным основанием 0,383×0,313 м, высотой 0,52 м. Для регулирования проходного сечения на ее выходе устанавливались крышки с круглыми отверстиями различного диаметра ($d_{отв}$ = 0,105; 0,160 и 0,205 м), которые изготавливали из фанеры толщиной 0,010−0,015 м и для снижения теплопотерь покрывали минеральной изоляцией толщиной 0,004 м.

Другой тип – это шахта с прямоугольным основанием, переходящим через конфузор в цилиндрическую трубу диаметром 0,105 м, регулируемой высотой H = 0,52; 1,16; 2,10 м. Также для снижения потерь снаружи покрыта минеральной изоляцией толщиной 0,02–0,03 м.

Так происходила интенсификация свободно-конвективного теплообмена однорядного пучка, а именно, осуществлялся режим смешанной конвекции, когда значения теплоотдачи за счет естественной и вынужденной конвекции воздуха сопоставимы.

Экспериментальные исследования в режимах свободной и смешанной конвекции выполнялись в условиях полного теплового моделирования. Обогрев одиночной трубы и однорядного пучка осуществлялся с помощью вставных ТЭНов, на которые через трансформатор подавалась электрическая мощность, оребренные трубки прогревались и нагревали воздух вокруг себя. Нагретый воздух под действием гравитационных сил в случае свободной конвекции поднимался вверх над трубками, а в случае смешанной конвекции заполнял пространство вытяжной шахты, организовывая вертикальное движение потока теплого воздуха. Центральная труба ряда являлась калориметром, на ней устанавливались необходимые датчики для измерения средней температуры у основания ребра трубы для вычисления приведенного коэффициента теплоотдачи. Схема экспериментальной установки, аппаратурное оснащение ее измерительными приборами, методика и порядок проведения опытов изложены в [3,4].

Во время экспериментального исследования оребренной трубы и однорядного пучка электрическая мощность, подводимая к трубе, изменялась в пределах W = 9−260 Вт, средняя температура стенки у основания ребер составляла $t_{ст}$ = 30−260°С, а температура окружающего воздуха в камере t_0 = 16–27°С. Теплофизические свойства воздуха λ, ν, ρ, c_p, β определяли по температуре окружающего воздуха в камере t_0. За определяющий размер был принят диаметр трубы по основанию ребер d_0.

По данным измерений рассчитывался средний приведенный коэффициент теплоотдачи конвекцией, отнесенный к полной наружной поверхности, при поперечном обтекании труб воздухом Вт/(м^2·К)

$$\alpha_к = \frac{Q_к}{F \cdot \left(t_{ст} - t_0\right)}, \tag{1}$$

где $Q_к$ – тепловой поток, отведенный конвекцией от трубы воздуху, Вт; $F = \pi d_0 l \varphi$ − площадь теплоотдающей оребренной поверхности, м^2.

Тепловой поток, отведенный конвекцией от трубы к окружающему воздуху, рассчитывался из уравнения, Вт

$$Q_к = W - Q_л - Q_{п(i)}, \tag{2}$$

где W − электрическая мощность, подводимая к калориметру, Вт; $Q_л$ − тепловой поток, отведенный излучением от трубы к воздуху, Вт [4]; $Q_{п(i)}$ − тепловые потери через торцы труб и токопроводы при i-х высотах оребрения трубы, Вт.

Тепловые потери через торцевые участки одиночной круглоребрестой трубы при изоляции ее концов фторопластовыми втулками вычислялись на основании предварительно проведенных опытов для соответствующих высот ребра трубы по следующим формулам, Вт

Для h_1 = 14,6 мм:

$$Q_{п1} = 0,02323 + 0,0378 \cdot W - 4,15177 \cdot 10^{-5} \cdot W^2; \tag{3}$$

Для h_2 = 12 мм:

$$Q_{\text{п}\,2} = 0,02323 + 0,0259 \cdot W - 2,72344 \cdot 10^{-5} \cdot W^2. \quad (4)$$

В случае устранения торцевых потерь однорядного пучка из круглоребрестых труб с помощью теплоизолирующего короба с минеральной ватой было установлено, что независимо от высоты ребра труб тепловые потери составляют 2% от подаваемой электрической мощности (W).

Результаты эксперимента конвективной теплоотдачи в режимах свободной и смешанной конвекции представлялись в виде зависимости чисел подобия Нуссельта от Рэлея

$$\text{Nu} = \alpha_{\text{к}} \cdot \frac{d_0}{\lambda}, \quad (5)$$

$$\text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr} = \frac{g \cdot \beta \cdot d_0^3 \cdot (t_{\text{ст}} - t_0)}{\nu \cdot a}, \quad (6)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); Gr – число Грасгофа; Pr – число Прандтля; g – ускорение свободного падения, м/с^2; β – коэффициент температурного расширения, К$^{-1}$; ν – коэффициент кинематической вязкости, м^2/с; a – коэффициент температуропроводности, м^2/с.

Результаты экспериментальных исследований горизонтально расположенных одиночной трубы и однорядного пучка с различной высотой оребрения в режимах свободной и смешанной конвекции представлены на рис. 1.

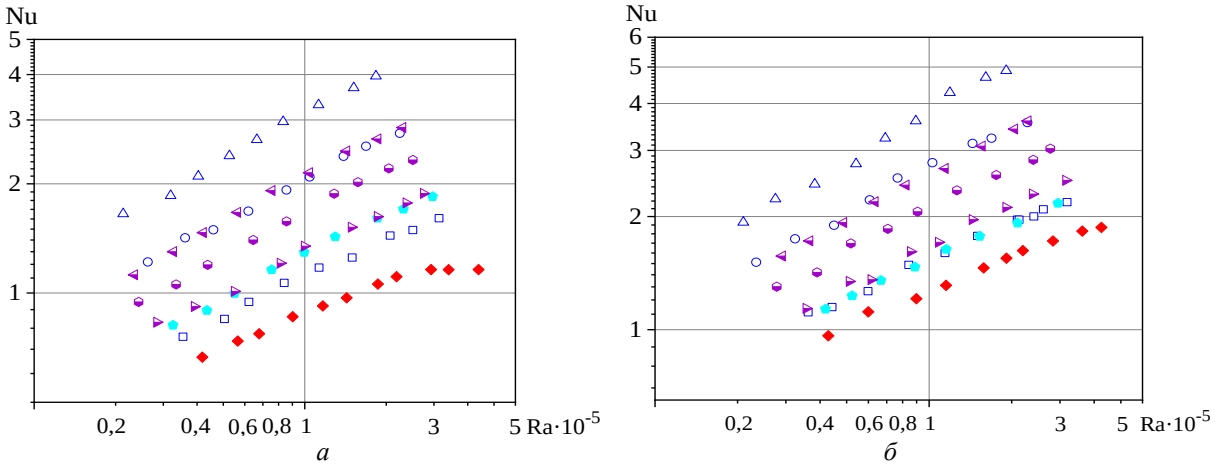


Рис. 1. Свободно-конвективная и смешанно-конвективная теплоотдача одиночной трубы и однорядного пучка с относительным шагом $\sigma_1 = 1,140$ с различными высотами ребра трубы (при $h_1 = 14,6$ мм (*а*); при $h_2 = 12$ мм (б)): свободно-конвективный режим: Λ – одиночная труба; □ – однорядный пучок; смешанно-конвективный режим: ∀ – $d_{\text{отв}} = 0,105$ м; – – $d_{\text{отв}} = 0,160$ м; 8 – $d_{\text{отв}} = 0,205$ м (шахта прямоугольного основания, высотой 0,52 м); к – $H = 0,52$ м; ϖ – $H = 1,16$ м; – $H = 2,12$ м (шахта с цилиндрической трубой, диаметром 0,105 м)

На рис. 1, видно, что теплоотдача однорядного пучка по сравнению с одиночной трубой (свободно-конвективный режим) при различных высотах оребрения труб увеличилась в 1,3 раза. Теплоотдача одиночной трубы при уменьшении высоты ребра с $h_1 = 14,6$ мм до $h_2 = 12$ мм увеличилась в 1,4 раза, а теплоотдача однорядного пучка с $\sigma_1 = 1,140$, соответственно в 1,2 раза.

Установка шахты прямоугольного основания над однорядным пучком с $\sigma_1 = 1,140$ при различных высотах оребрения труб способствует увеличению теплоотдачи в 1,2–3,2 раза, а установка шахты с цилиндрической трубой – в 1,3–1,6 раза, кроме шахты с $d_{\text{отв}} = 0,105$ м и $H = 0,52$ м. Это явление подробно описано в [5].

В настоящее время, в промышленности, доступное пространство, отведенное на размещение теплообменников, зачастую ограничено, следовательно, вопрос об их компактности выходит на передний план [6]. Поэтому, в данной работе была проведена оценка, рассматриваемых теплообменных поверхностей (одиночной трубы и однорядного пучка с различной высотой оребрения), при свободно-конвективном и смешанно-конвективном режимах работы с помощью показателя объемной плотности теплового потока.

Объемная плотность теплового потока при различных высотах одиночной трубы и однорядного пучка в режимах свободной и смешанной конвекции определялась по формуле, Вт/(м^3·К)

$$q_{об}^{г} = \frac{Q_к}{V_г \cdot (t_{ст} - t_0)} \cdot m, \qquad (7)$$

где $V_г$ – габаритный объем, занимаемый теплообменной поверхностью (одиночной трубой, однорядным пучком), м^3; m – число труб в пучке, шт. (для одиночной трубы m = 1 шт.);

Для одиночной трубы габаритный объем (объем параллелепипеда) определялся так, м^3: $V_г^{тр} = S_{осн} \cdot h = d^2 \cdot l$, где $S_{осн}$ – площадь основания параллелепипеда (площадь квадрата со стороной d – наружным диаметром трубы, м), м^2; h – высота параллелепипеда, м, равная длине трубы l, м. Для однорядного пучка габаритный объем (объем параллелепипеда) определялся так, м^3: $V_г^{п} = S_{осн} \cdot h = l \cdot m \cdot S_1 \cdot d$, где $S_{осн}$ – площадь основания параллелепипеда (площадь прямоугольника, образующегося длиной одной трубы l, м и m шт. поперечных шагов труб $S_1 = d \cdot \sigma_1$, м, где σ_1 = 1,140 – поперечный относительный шаг труб с различной высотой оребрения), м^2; h – высота параллелепипеда, м, равная наружному диаметру трубы d, м.

Результаты оценки по объемной плотности теплового потока представлены на рис. 2.

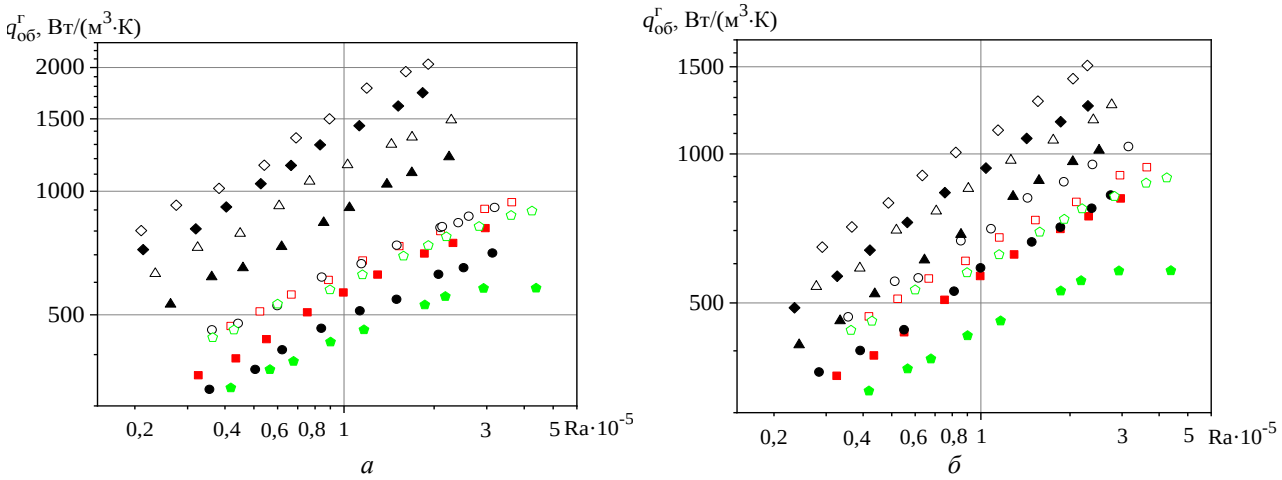


Рис. 2. Графическая зависимость объемной плотности теплового потока от числа Рэлея одиночной трубы и однорядного пучка с относительным шагом σ_1 = 1,140 с различными высотами ребра трубы (*а* – для шахты прямоугольного основания, высотой 0,52 м; *б* – для шахты с цилиндрической трубой, диаметром 0,105 м): свободно-конвективный режим: □ – одиночная труба с h_1 = 14,6 мм; □ – одиночная труба с h_2 = 12 мм; ! – однорядный пучок с h_1 = 14,6 мм; ∀ – однорядный пучок с h_2 = 12 мм; смешанно-конвективный режим (для шахты прямоугольного основания, высотой 0,52 м): , – d = 0,105 м (при h_1 = 14,6 мм); – – d = 0,105 м (при h_2 = 12 мм); 7 – d = 0,160 м (при h_1 = 14,6 мм); 8 – d = 0,160 м (при h_2 = 12 мм); Λ – d = 0,205 м (при h_1 = 14,6 мм); M – d = 0,205 м (при h_2 = 12 мм); смешанно-конвективный режим (для шахты с цилиндрической трубой, диаметром 0,105 м):, – H = 0,52 м (при h_1 = 14,6 мм); – – H = 0,52 м (при h_2 = 12 мм); 7 – H = 1,16 м (при h_1 = 14,6 мм); 8 – H = 1,16 м (при h_2 = 12 мм); Λ – H = 2,12 м (при h_1 = 14,6 мм); M – H = 2,12 м (при h_2 = 12 мм)

Кроме этого, для оценки энергоэффективного использования алюминия из которого изготавливается оребрение для круглоребрестых труб, данные поверхности были оценены по показателю объемной по алюминию плотности теплового потока.

Объемная по алюминию плотность теплового потока при различных высотах одиночной трубы и однорядного пучка в режимах свободной и смешанной конвекции определялась по формуле, Вт/(м^3·К)

$$q_{об}^{ал} = \frac{Q_к}{V_{ор} \cdot (t_{ст} - t_0)} \cdot m, \qquad (8)$$

где $V_{ор}$ – объем алюминиевого оребрения (одиночной трубы, однорядного пучка), м^3.

Объем алюминиевого оребрения (одиночной трубы, однорядного пучка) определялся по

выражению, м^3

$$V_{\text{ор}} = (V_{\text{к}} + V_{\text{п}}) \cdot m = \frac{\pi}{4} \cdot \left[\left(\left(d^2 - d_0^2 \right) \cdot \Delta \cdot n \right) + \left(\left(d_0^2 - d_{\text{н}}^2 \right) \cdot l \right) \right] \cdot m, \qquad (9)$$

где $V_{\text{к}}$ – объем алюминиевого кольца трубы (объем цилиндра диаметром $d - d_0$, где d_0 – диаметр трубы по основанию, м и высотой цилиндра равной толщине ребра трубы Δ, м), м^3; $V_{\text{п}}$ – объем алюминиевой подложки трубы (объем цилиндра диаметром $d - d_{\text{н}}$, где $d_{\text{н}}$ – диаметр несущей трубы, м и высотой цилиндра равной длине трубы l, м), м^3; $n = l / s$ – количество алюминиевых колец трубы, шт., где s – шаг ребра трубы, м.

Результаты оценки по объемной по алюминию плотности теплового потока представлены на рис. 3.

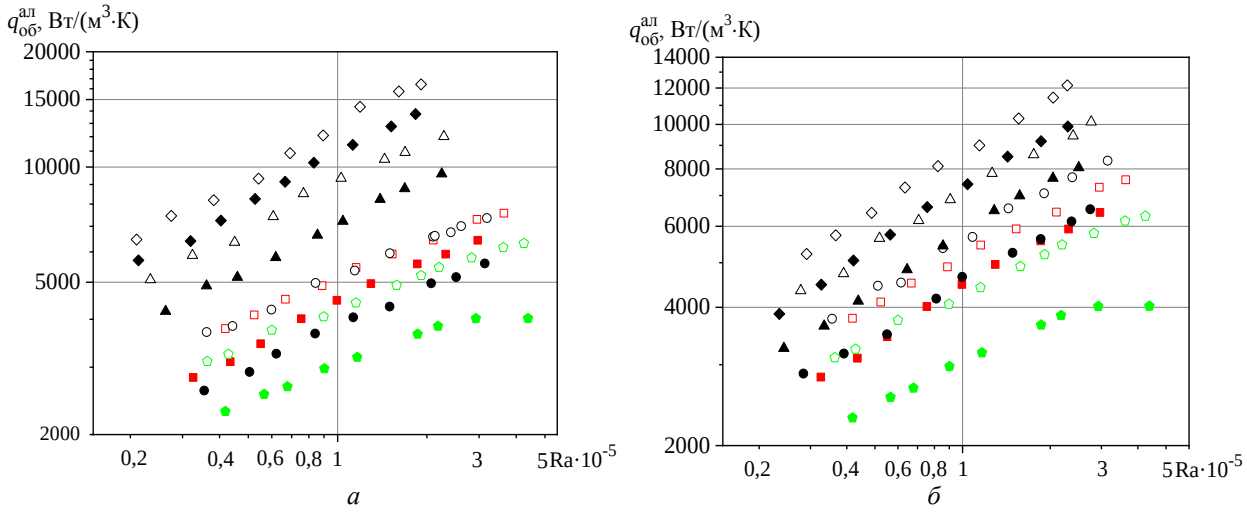


Рис. 3. Графическая зависимость объемной по алюминию плотности теплового потока от числа Рэлея одиночной трубы и однорядного пучка с относительным шагом σ_1 = 1,140 с различными высотами ребра трубы (*а* – для шахты прямоугольного основания, высотой 0,52 м; *б* – для шахты с цилиндрической трубой, диаметром 0,105 м): свободно-конвективный режим: □ – одиночная труба с h_1 = 14,6 мм; □ – одиночная труба с h_2 = 12 мм; ! – однорядный пучок с h_1 = 14,6 мм; ∀ – однорядный пучок с h_2 = 12 мм; смешанно-конвективный режим (для шахты прямоугольного основания, высотой 0,52 м): , – d = 0,105 м (при h_1 = 14,6 мм); – – d = 0,105 м (при h_2 = 12 мм); 7 – d = 0,160 м (при h_1 = 14,6 мм); 8 – d = 0,160 м (при h_2 = 12 мм); Λ – d = 0,205 м (при h_1 = 14,6 мм); M – d = 0,205 м (при h_2 = 12 мм); смешанно-конвективный режим (для шахты с цилиндрической трубой, диаметром 0,105 м):, – H = 0,52 м (при h_1 = 14,6 мм); – – H = 0,52 м (при h_2 = 12 мм); 7 – H = 1,16 м (при h_1 = 14,6 мм); 8 – H = 1,16 м (при h_2 = 12 мм); Λ – H = 2,12 м (при h_1 = 14,6 мм); M – H = 2,12 м (при h_2 = 12 мм)

Из анализа рис. 2 и рис. 3 следует, что наиболее энергетически выгодной и экономически целесообразной по использованию алюминиевого оребрения, является высота ребра круглоребристой трубы h_2 = 12 мм.

Данные исследования будут продолжаться с другими высотами оребрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Примеры расчетов нестандартизованных эффективных теплообменников / В.Б. Кунтыш [и др.]; под. ред. В.Б. Кунтыша и А. Н. Бессонного. СПб.: Недра, 2000. 300 с.

2. *Сухоцкий А.Б., Маршалова Г.С.* Экспериментальное исследование и обобщение данных по интенсифицированной конвективной теплоотдаче однорядных пучков ребристых труб в потоке воздуха // Энергетика. Изв. Высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. Т. 61. № 6. С. 552–563.

3. *Сидорик Г.С.* Экспериментальный стенд для исследования тепловых и аэродинамических процессов смешанно-конвективного теплообмена круглоребристых труб и пучков // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 1 (204). С. 85–93.

4. Разработка стенда и исследование свободной конвекции одиночной оребренной трубы при различных углах наклона / А.Б. Сухоцкий [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 1 (192). С. 169–175.

5. *Сухоцкий А.Б.* Исследование смешанноконвективной теплоотдачи однорядных воздухоохлаждаемых теплообменников при различных поперечных шагах установки труб / А.Б. Сухоцкий, Г.С. Сидорик // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. № 19. С. 3–11.

6. *Hahne E., Zhu D.* Natural convection heat transfer on finned tubes in air // Int. J. Mass Transfer. 1994. Vol. 37. Suppl. 1. pp. 59–63.

INTENSIFICATION OF FREE-CONVECTIVE HEAT TRANSFER ROUND-RIDGED TUBE AND SINGLE-RANGE BUNCH OF THESE TUBES WITH DIFFERENT HEIGHTS FINNING

Danilchik E.
katya.156.156@gmail.com
Supervisor: A. Sukhotskii, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(*Belarusian State Technological University, Minsk*)

The article presents a study of the influence of the height of the finning of the round-ridged tube on the free-convective and intensified heat exchange of horizontally located single round-ridged tube and single-range bunch of six such tubes with a step S_1 = 64 mm (relative step $\sigma_1 = S_1 / d$ = 1,140). The heat transfer of a single tube with a decrease in the height of the rib with h_1 = 14.6 mm to h_2 = 12 mm increased 1.4 times, and the heat transfer of a single-row beam with σ1 = 1.140, respectively 1.2 times. The installation of a rectangular base shaft above a single-range bunch with σ_1 = 1.140 at different heights of the tube finning increases the heat transfer by 1.2–3.2 times, and the installation of a shaft with a cylindrical tube – 1.3–1.6 times, except for a mine with H = 0.52 m and d_h = 0.105 m. Also, the data of heat exchange surfaces in the modes of free and mixed convection were estimated using the bulk thermal density and the bulk density of the heat flux of aluminum. It has been determined that the most energetically favorable and economically feasible in using aluminum fins is the edge height of a round-ridged tube h_2 = 12 mm.

УДК 621.822.572

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ РОТОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Замалиева Д.А., Ерзиков А.М.
vvt379@rambler.ru
Научный руководитель: В.В. Такмовцев, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Рассмотрены современные тенденции совершенствования конструктивного облика роторных подшипников авиационных двигателей и энергетических установок для повышения их долговечности и ресурса работы.

Роторные подшипники авиационных двигателей и стационарных наземных энергетических установок на их основе работают в тяжелых условиях, обусловленных высокими динамическими и тепловыми нагрузками. В сочетании с современными действующими требованиями по повышению рабочих характеристик, за счет увеличения температуры газа перед турбиной и оборотов ротора, актуальной становится задача повышения долговечности роторных подшипников.

Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации авиационных и конвертированных газотурбинных двигателей (ГТД) показывает, что в качестве роторных подшипников используются подшипники качения (ПК), ресурс которых во многом зависит от долговечности самих ПК, от особенностей их конструкции, материала и качества изготовления элементов ПК, а также от условий эксплуатации (нагрузки, частоты вращения,

теплоотдача, эффективность работы системы смазки).

В данной работе рассматриваются способы совершенствования конструктивного облика роторных ПК, направленных на повышения их долговечности и ресурса работы.

Авиационные роторные ПК различаются по типу (шариковые и роликовые) и размерам, но имеют общую конструктивную особенность – наличие сепаратора. В свою очередь конструкции сепараторов, материал и технологии, применяемый для их изготовления, также различаются в соответствии с условиями работы роторных ПК. При работе ПК на сепараторы воздействуют силы трения, а также ударные, центробежные и инерционные силы. Они также могут быть подвержены химическому воздействию смазочных материалов или присадок к маслам. Поэтому сепараторы роторных ПК являются элементами, дефекты которых занимают одно из ведущих мест, в процессе эксплуатации авиационных ГТД. Особенно эта проблема актуальна в шариковых радиально-упорных ПК, воспринимающих осевые нагрузки со стороны компрессора и турбины.

В связи с этим в нашей стране и за рубежом ведутся работы по разработке и использованию в качестве опор роторов авиационных ГТД быстроходных ПК без сепараторов, надежно работающих в современном диапазоне нагрузок и температур.

Перспективными являются ПК, в которых улучшение характеристик при высоких скоростях достигается совершенствованием их конструкций в области организации зон трения. К ним можно отнести радиальные роликовые ПК с цилиндрическими роликами и гидростатическим сепаратором (рис. 1).

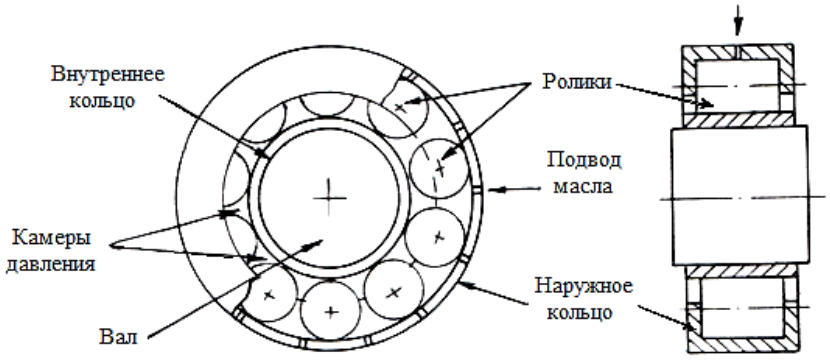


Рис. 1. Радиальный роликовый ПК с гидростатическим сепаратором [1]

Прерогативой выпуска данных подшипников обладает фирма JNA Walzlager Schaeffer, в которой разработана их конструкция. В этих подшипниках функцию сепаратора играет смазка, нагнетаемая в камеры давления через радиальные отверстия небольшого диаметра. В зоне нагрузки уменьшается зазор между роликами, в результате чего возрастает гидростатическое давление жидкости в камерах. По мере выхода роликов из зоны нагружения зазор между ними увеличивается до тех пор, пока не установится динамическое равновесие между силами, действующими со стороны роликов и жидкости. Такое саморегулирование обеспечивает более высокие статические и динамические нагрузочные характеристики подшипников [1]. Перечисленные свойства таких подшипников представляют интерес при разработке межвальных роликовых подшипников авиационных ГТД, работающих в условиях высоких окружных скоростей и малых нагрузок.

Совершенствование зон трения можно достигнуть в результате применения керамических тел качения. Наиболее распространенный материал для их изготовления – нитрид кремния (Si_3N_4). Применение таких ПК позволяет уменьшить массу тел качения (до 40%) и снизить действие центробежных сил. По данным американской фирмы Cerbec [2], специализирующейся по выпуску керамических ПК для космической и военной промышленности, их применение вместо обычных стальных подшипников позволяет в 10 раз повысить износостойкость, в 3-10 раз увеличить контактную выносливость, обеспечивает работоспособность опорных узлов в диапазоне параметра $dn \le 7{,}6 \cdot 10^6$ мм·об·мин $^{-1}$. Керамика

по сравнению со сталью имеет более высокий модуль упругости и незначительный коэффициент теплового расширения, что позволяет обеспечить высокую твердость и теплостойкость керамических ПК. Такие подшипники способны работать при высоких температурах, устойчивы к коррозионным средам, не чувствительны к воздействию магнитного поля, обладают низким адгезионным свойством.

Сдерживающим фактором широкого применения керамических ПК в авиадвигателестроении являются технологическая сложность изготовления и обработки керамических тел качения, чувствительность к динамическим нагрузкам и перекосам и высокая стоимость (в 5 раз дороже стальных подшипников). В настоящее время ведутся интенсивные работы по преодолению этих недостатков для реализации несомненных преимуществ керамических ПК в авиадвигателестроении.

К другому перспективному направлению совершенствования конструктивного облика роторных ПК можно отнести безсепараторные шариковые подшипники (рис. 2), разработанные инженерами японской компании Coo Space [3].

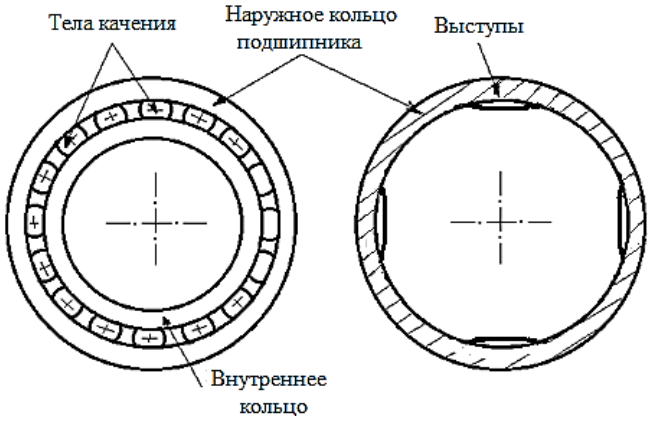
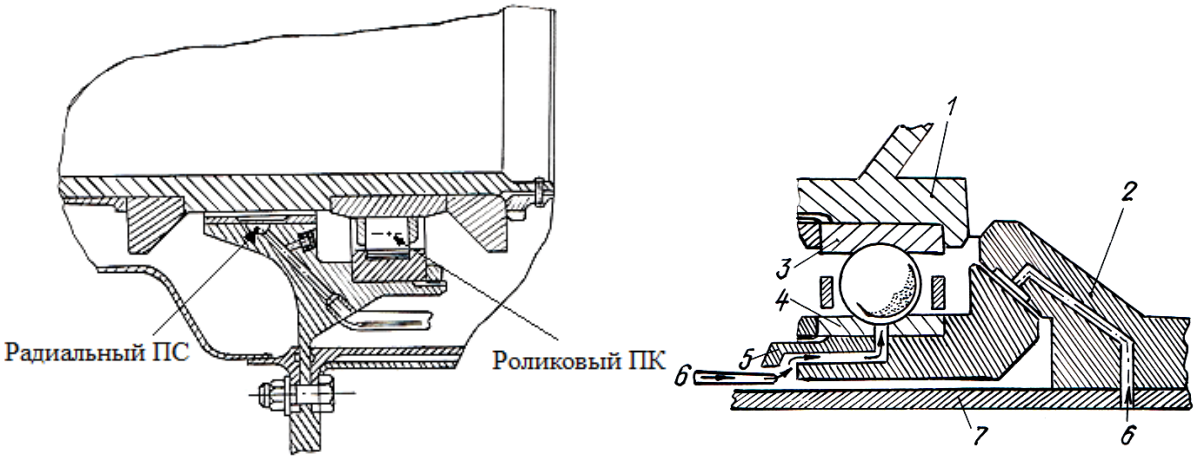


Рис. 2. Радиальный шариковый ПК без сепаратора компании Coo Space

Отличительной особенностью этих ПК является то, что на внутренней поверхности наружного кольца подшипника в продольной плоскости сечения через равные промежутки нанесена серия выступов овальной формы. Накатываясь на эти выступы шарик слегка замедляет скорость своего движения, а скатываясь с них ускоряется. При движении по такой траектории происходит изменение положения точек соприкосновения шариков с рабочей поверхностью наружного кольца ПК. В результате шарики не сталкиваются и, если их параметры трения близки между собой, расстояние между всеми шариками выравнивается и существенно снижается трение в ПК. Подобная конструкция подшипника не нуждается в смазке или сепараторе. В момент пуска ПК начинает работу с неравномерно распределенными по окружности шариками. Однако после нескольких оборотов шарики распределяются равномерно. Такие ПК получили название Autonomous Decentralised Bearing (автономный децентрализованный подшипник). Применение таких ПК требует их доработки с целью компенсации действия осевых сил, возникающих при работе авиационного ГТД.

Данная проблема может быть решена в результате использования принципа совмещения и сочетания на отдельных режимах работы полезных свойств опор различного класса и отдельных элементов конструкции двигателя. Например, совмещая в едином узле (рис. 3, *а*) роликовый ПК и радиальный подшипник скольжения (ПС), можно образовывать комбинированную опору ротора авиационного ГТД. На рис. 3, *б* показана комбинированная опора, состоящая из шарикового ПК и конического гидростатического подшипника (ГСП).



а) *б*)

Рис. 3. Конструкции комбинированной опоры ротора авиационного ГТД:
а – объединение в одном опорном узле роликового ПК и радиального ПС [4];
б – объединение в одном опорном узле шарикового ПК и конического ГСП [5]:
1 – корпус шарикового ПК; *2* – конический ГСП; *3*, *4* – наружное и внутреннее кольца шарикового ПК; *5* – промежуточный вал; 6 – форсунка для подачи смазки, *7* – вал ГТД

Работа подшипников различного типа в составе комбинированной опоры позволяет повысить долговечность и ресурс опоры ротора авиационного ГТД. При этом, следует отметить, что происходит усложнение конструкции опорного узла и целесообразность использования комбинированных опор оправдано в том случае, когда исчерпаны все усовершенствования конструкций современных роторных подшипников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Grenzubertritt Entwicklung von neuartigen Zylinderrol – lenlagern // Techno – Tip. 1989. 19, №6. S. 132.

2. *Понькин В.Н., Горюнов Л.В., Такмовцев В.В.* Совмещенные опоры быстроходных турбомашин, принципы конструирования и экспериментальное исследование. Казань, 2003. 62 с. (Препринт / Изд-во Казан. гос. техн. ун-та; Казань, П305).

3. *Loz Blain*. Greaseless ball bearings: A revolutionary spin on a design that's been around for ages //Good Thinking. URL: https://newatlas.com/greaseless-ball-bearings-coo-space-adb/37689/ (дата обращения: 08.07.2019)

4. United States Patent №3708215, F16C32/00. Hybrid boost bearing assembly /*Donald F. Wilcok, Leo W. Winn, both of Schenectady N.Y.*

5. *Найпен, Скиббе, Хемрок*. Оптимальное распределение скоростей в сериесном комбинированном подшипнике // Проблемы трения и смазки. 1973. №1. С. 83–89.

IMPROVEMENT OF DESIGNS OF ROTOR BEARINGS OF AVIATION ENGINES AND ENERGY INSTALLATIONS

Zamalieva D., Erzikov A.
vvt379@rambler.ru
Supevisor: V. Takmovtsev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The current trends of improving the design appearance of rotary bearings of aircraft engines and power plants to improve their durability and service life are considered.

УДК 626.62-69

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПОРИСТОГО ТЕЛА ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ

Золотов А.С., Салахов Р.Р.
andrey1395s@gmail.com
Научный руководитель: А.М. Ермаков, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной работе рассмотрен метод упрощения гидравлического расчета для теплообменного аппарата путем замены расчетных элементов на пористое тело. Сравниваются результаты для обоих случаев. Моделирование было выполнено с помощью программ SiemensNX, WorkbenchANSYS Academic version 17.2.

1. Объект исследования, на котором были проведены эксперименты.

Объектом исследования является теплообменный аппарат грузового автомобиля КамАЗ. В разобранном виде он представлен на рисунке 1. Теплообмен осуществляется за счет протекания масла между охлаждающими пластинами, установленными на трубках, внутри которых протекает охлаждающая жидкость [1].

Основной проблемой расчета подобных теплообменных аппаратов является то, что на пластинах и в межпластинном пространстве получается большая расчетная сетка, что затрудняет их расчет [2].

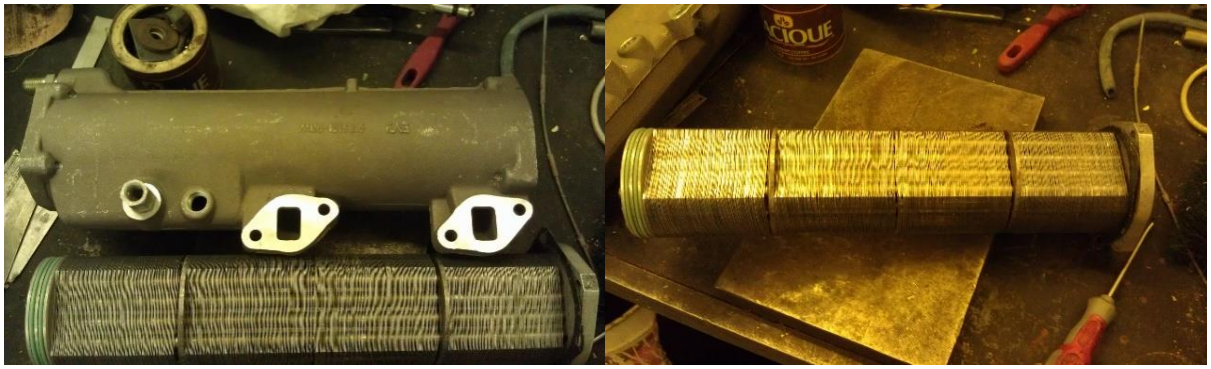


Рис. 1. Теплообменный аппарат, предоставленный для экспериментов (в разобранном виде)

2. Моделирование элемента теплообменного аппарата.

Для проведения расчета на небольшой сетке расчтеная модель будет состоять из периодического элемента, состоящего из 5 охлаждающих пластин.

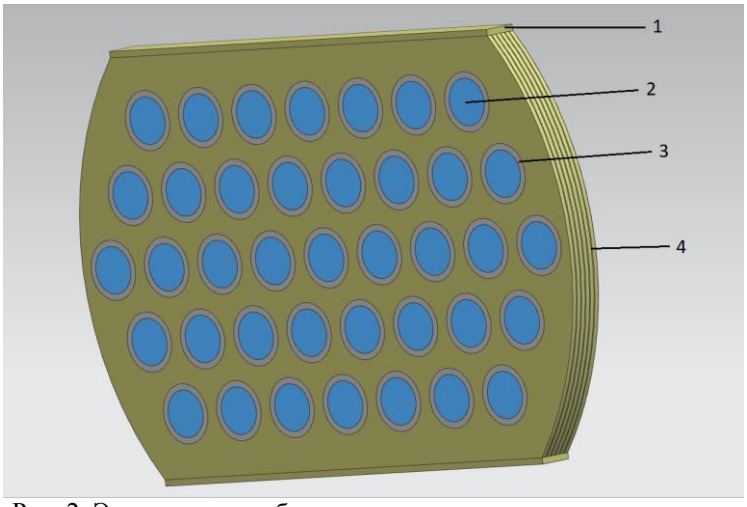


Рис. 2. Элемент теплообменного аппарата с пятью пластинами:
1 – домен масла; 2 – домен воды; 3 – домен трубок; 4 – домен пластин охлаждающих

3. Моделирование элемента теплообменника с пористым телом.

Программный комплексANSYS позволяет использовать модель пористого тела для расчета подобных теплообменных аппаратов. Математическая модель представлена ниже.

Потери в изотропной пористой области может быть сформулирована с использованием коэффициентов проницаемости и потерь следующим образом:

$$S_{M,x} = -\frac{\mu}{K_{perm}} * U_x - K_{loss}|U|U_x \quad (2)$$

$$S_{M,y} = -\frac{\mu}{K_{perm}} * U_y - K_{loss}|U|U_y \quad (3)$$

$$S_{M,z} = -\frac{\mu}{K_{perm}} * U_z - K_{loss}|U|U_z \quad (4)$$

Где K_{perm}—проницаемость, а K_{loss}— коэффициент квадратичных потерь. Здесь линейная составляющая представляет собой вязкостные потери, а квадратичный – инерционные потери.

4. Математическая модель пористого тела для расчета в ANSYS.

Для правильного функционирования модели, необходимо задать ее параметры: пористость, проницаемость, модели гидравлических потерь. Их значения можно вычислить, зная величину плотности и вязкости масла, а также изменений давления и скорости. Изменения скорости и давления получим, проведя серию расчетов модели с пятью пластинам [3].

Объемную пористость можно вычислить по формуле 1:

$$\epsilon = \frac{V_o}{V_s} \quad (1)$$

гдеV_O – общий объем пористого тела; V_S – объем домена пластин

Для вычисления коэффициента проницаемости и коэффициента потерь на сопротивление составляется апроксимационное уравнение. Для этого необходимо иметь значения скорости потока на впуске и гидравлическую характеристику, которые также можно получить расчетным методом в среде ANSYSCFX.

Модель элемента ТА с пористым телом представлена на рис.3, где Домен масла и домен пластин были объедены в единый домен пористого тела. За счет этого можно сократить количество элементов сетки, что благоприятно повлияет на продолжительность расчета и требования системным характеристикам расчетного оборудования [4].

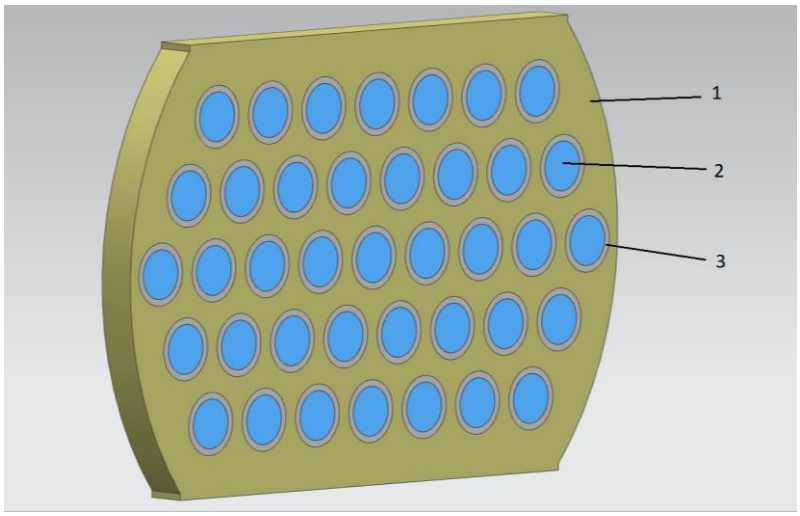


Рис. 3. Элемент теплообменного аппарата пористым телом:
1 – домен пористого тела; 2 – домен воды; 3 – домен трубок

5. Результаты расчетов

Сетка, имеющая в своем составе все исходные элементы (домены масла, воды, пластин и трубок) (см. рис.4) состоит из 2608721 узлов и 3074499 элементов. Расчет гидравлики в таком домене занял 10 минут 11.956 секунд.

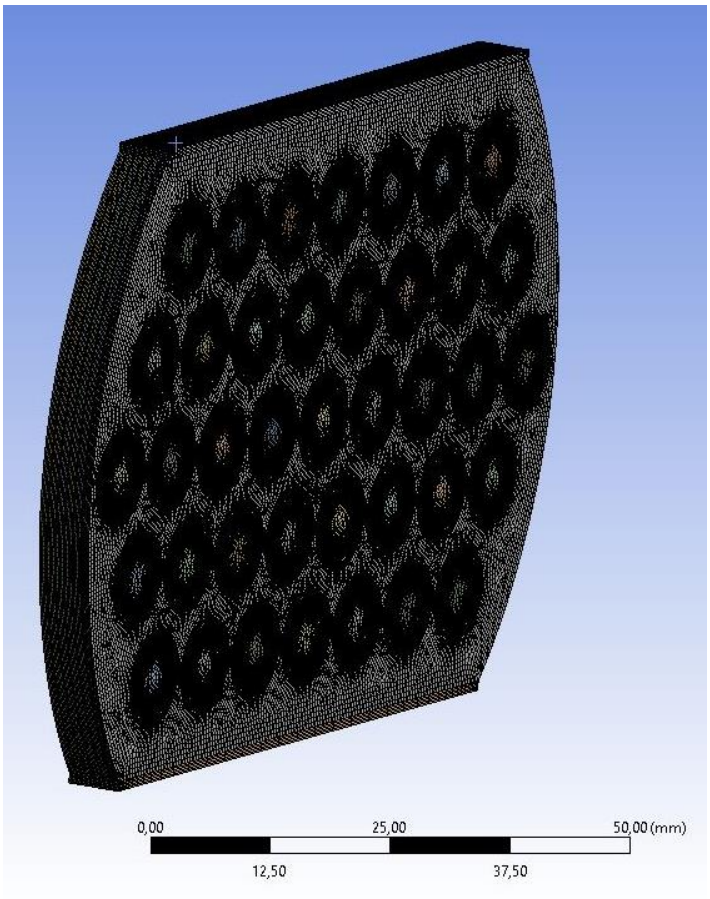
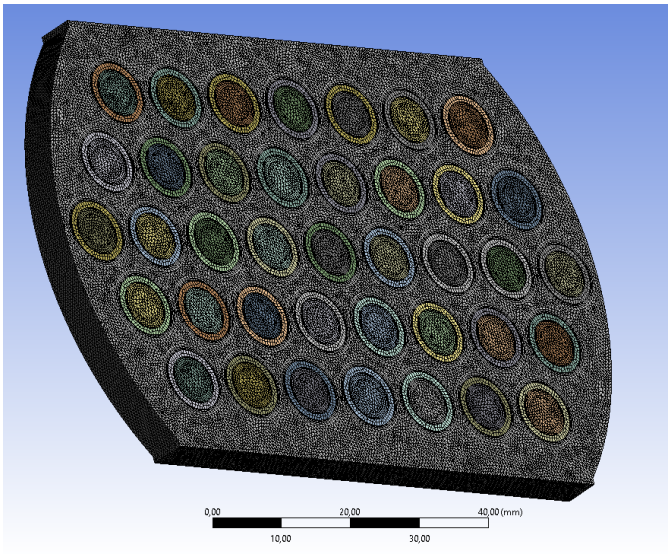


Рис. 4. Сетка исходного домена

Сетка домена с пористым телом (см. рис. 5) имеет 616737 узлов 1548414 элементов. Расчет гидравлики в таком домене занял 4 минуты 30.663 секунд



Результаты расчета по потерям давления представлен в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчетов гидравлических потерь

Метод	G, кг/с	P_{inlet}, Па	P_{outlet}, Па	ΔP, Па	t, мин
Исходный домен	0,010136	897,6	-0,00309	897,603	10,2
Домен с пористым телом	0,010136	962	0,67860	961,321	4,5

Заменив домены масла и пластин доменом пористого тела, в 2,25раз сокращается время расчета, в 1,93 раз сокращается количество элементов расчетной сетки, а, следовательно, и требования к техническим характеристикам расчетного оборудования. Сравнивая результаты перепадов давления ΔP обоих случаев, видно, что результаты расчетов получены с точностью до 7%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Денисов М. А. Математическое моделирование теплофизических процессов. ANSYS и CAE-проектирование: учеб. пособие / М. А. Денисов. Екатиринбург: УрФУ, 2011, 149 с.

2. ANSYS, Inc. ANSYS Workbench Products Release Notes. Southpointe 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317 2005. – 1192 с.

*3. Thomas Höhne*CFD Simulation of Thermal-Hydraulic Benchmark V1000CT-2 Using ANSYS CFX

4. Salakhov R.R., Yamalov D.R., Gureev V.M., Salakhov I.R., Gattarov I.F. / NUMERICAL MODELING OF DIESEL INTERNAL COMBUSTION ENGINE HEATING - INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED ENGINEERING RESEARCHТом: 10Номер: 24 Год: 2015 Страницы: 44974-44981

USE OF THE POROUS BODY METHOD FOR CALCULATING PROCESSES IN HEAT EXCHANGE EQUIPMENT

Zolotov A., Salahov R.

andrey1395s@gmail.com

Supervisor: A. Ermakov, Candidate of Technical Sciences

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

In this paper, we consider the method of simplifying the hydraulic calculation for a heat exchanger by replacing the design elements with a porous body. The results for both cases are compared. The simulation was performed using the programs Siemens NX, Workbench ANSYS.

УДК 626.62.96

РАЗРАБОТКА ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ДЛЯ ПРЕДПУСКОВОГО ГАЗОВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Калимуллин Р.Р.

rrkalimullin@kai.ru

Научный руководитель: Р.Р. Салахов, канд. техн. наук, доцент,
В.Л. Варсегов, д-р техн. наук, профессор

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Современные автомобильные предпусковые подогреватели должны соответствовать жестким ограничениям как по габаритам, так и по массе. Это усложняет расчет и разработку отдельных элементов подогревателя, а так же процесс его работы в целом. В работе решается задача по расчету и проектированию высоконагруженной теплообменной части предпускового подогревателя на транспорте, работающего на газовом топливе.

Расчет теплообменного аппарата производился на выходную тепловую мощность 15 кВт. По удельной теплоте сгорания природного газа найден расход горячего теплоносителя: 0,024 кг/с. Расход холодного теплоносителя (тосола) задавался из характеристик отопительной системы автомобиля и равен 0,45 кг/с.

Наибольший тепловой поток наблюдается на начальном участке подогрева, когда температурный перепад между горячим и холодным теплоносителями максимальный.

Начальная температура тосола -40°С, а температура продуктов сгорания 900°С.

По начальным температурам теплоносителей определены значения их теплоемкостей и вычислены полные массовые теплоемкости.

$W_ж=G_ж*C_{рж}=0,45*3600=1620 \frac{Дж}{К*с}$

$W_г=G_г*C_{рг}=0,024*1290=30,96 \frac{Дж}{К*с}$

Аналогично находятся значения коэффициентов теплопроводности жидкости и газа: $\lambda_ж=0,319 \frac{Вт}{м*К}$ $\lambda_г=0,1 \frac{Вт}{м*К}$.

Высота канала для жидкости в теплообменнике выбрана 5 мм. Для увеличения времени контакта жидкости с горячей стенкой использовалась спиральная навивка. Расстояние между соседними витками проволочной спирали – 95 мм.

Площадь поперечного сечения канала охлаждающей жидкости равна:

$F_ж=0.095*0,005=0,00025 м^2$.

По значению плотности охлаждающей жидкости определялась ее скорость:

$w_ж=\frac{G_ж}{\rho ж * F_ж}=\frac{0,45}{0,00025*1122}=1,604$ м/с.

Учитывая наличие оребрения со стороны газа (уменьшение сечения) вычислялась скорость продуктов сгорания

$w_г=\frac{G_г}{\rho г * F_г}=\frac{0,024}{0,0027*0,436}=20$ м/с.

Критерий Рейнольдса для жидкости и газа в теплообменном аппарате. Определяющим размером будет высота каналов. Вязкости определены по температурам.

$Re_г=\frac{wг*hг}{vг}=\frac{20*0,015}{0,0000832}=3615.$

$Re_ж=\frac{wж*hж}{vж}=\frac{0,1*0,005}{0,000202}=39,71.$

Вычислено число Нуссельта и коэффициент теплоотдачи для теплоносителей. Число Прандтля выбиралось по температуре охлаждающей жидкости.

$Nu_г=0,018*(Re^{0,8})=12,639$ – для продуктов сгорания

$Nu_ж=0,05*(Reж^{0,5})*Prж^{0,38}*(\frac{Prж}{Prж\ ст})^{0,25}=5,136$ – для охлаждающей жидкости.

$a_ж= Nu_ж*(\frac{\lambda ж}{hж})= 5,136*(\frac{0,319}{0,005})=327,687 \frac{Вт}{К*м^2}$ – со стороны жидкости.

$a_г= N_{uг}*(\frac{\lambda г}{hг})= 12,639*(\frac{0,1}{0,015})=84,263 \frac{Вт}{К*м^2}$ – со стороны продуктов сгорания.

Коэффициент теплопроводности алюминия равен: $\lambda_{алюм}=237 \frac{Вт}{м*К}$.

Вычисляем эффективность оребрения (параметры ребра $\delta_в=0,005$ м; $\delta_о=0,002$ м):

$\delta_{ср}=\frac{\delta н+\delta в}{2}=0,0035$ мм,

$Bi=\frac{аг*(\frac{\delta н+\delta в}{2})}{\lambda_{алюм}}=0,00124,$

$\bar{h}=\frac{hг}{\frac{\delta н+\delta в}{2}}=3,43.$

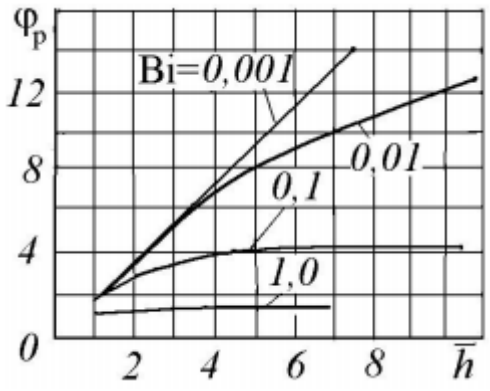


Рис. 1. Коэффициент эффективности оребрения

По графику рис.1 находился коэффициент $\varphi_р$ =7

$n_р=\varphi_р*\frac{Fр}{Fо}+\frac{Fгл}{Fо}$ =3.865-коэффициент эффективности оребрения.

Коэффициент теплопередачи определялся по зависимости:

$k=\frac{1}{\frac{1}{а_ж}+\frac{1}{а_г*пр}+\frac{\delta то}{\lambda_{алюм}}}=162{,}997\ \frac{Вт}{К*м^2}$,

где k-коэффициент теплопередачи, $d_{нар}$-наружный диаметр теплообменника со стороны жидкости ,м, $F_р$-площадь поверхности ребер, $F_{гл}$-площадь межреберной поверхности, $F_о$-площадь поверхности без оребрения, δто-толщина стенки теплообменника, м

Определяется тепловая мощность в первом приближении:

$Q=k*\Delta T*F_0$=72,68*0,082*(1173-233)=12520 Вт

По полной массовой теплоемкости вычислялась температура теплоносителей на выходе и средняя температура.

$T_{г2}= T_{г1}-(\frac{Q}{Wг})$=768,77 К.

$T_{ж2}= T_{ж1}-(\frac{Q}{Wж})$=240,725 К.

Пересчитываются средние температуры:

$T_{срж}= (\frac{Тж2+Тж1}{2})$=236,86 К.

$T_{срг}= (\frac{Тг2+Тг1}{2})$=970,884 К.

Повторно определялась тепловая мощность

$Q=k*\Delta T*F_0$=162,997*0,082*(970,884-236,86)=9773 Вт.

По результатам расчета была разработана конструкторская документация на изготовление опытного образца теплообменной части подогревателя. Ниже приведены чертежи отдельных деталей и чертеж конструкции в сборе.

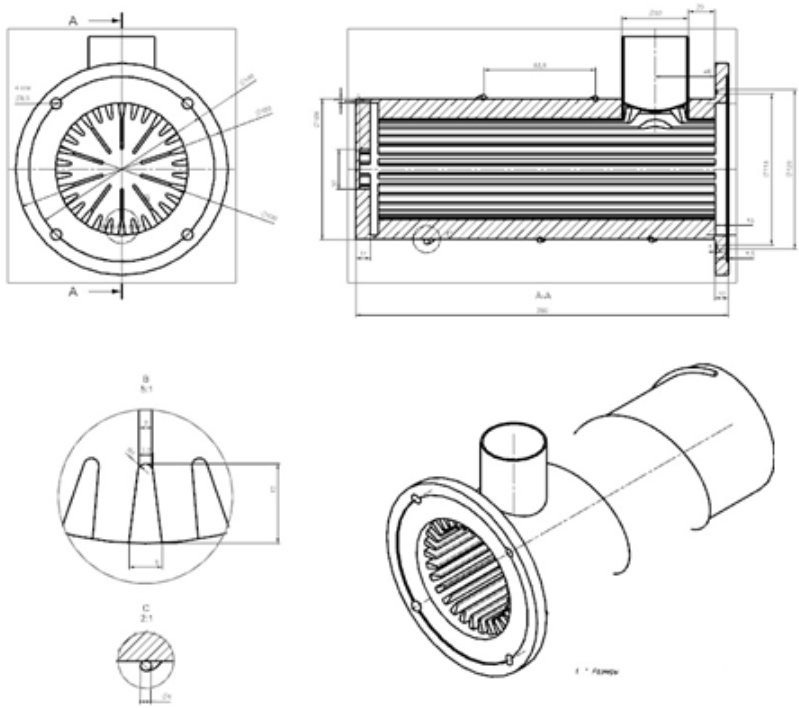


Рис. 2. Корпус теплообменника

В соответствии с КД был изготовлен опытный образец теплообменного аппарата.

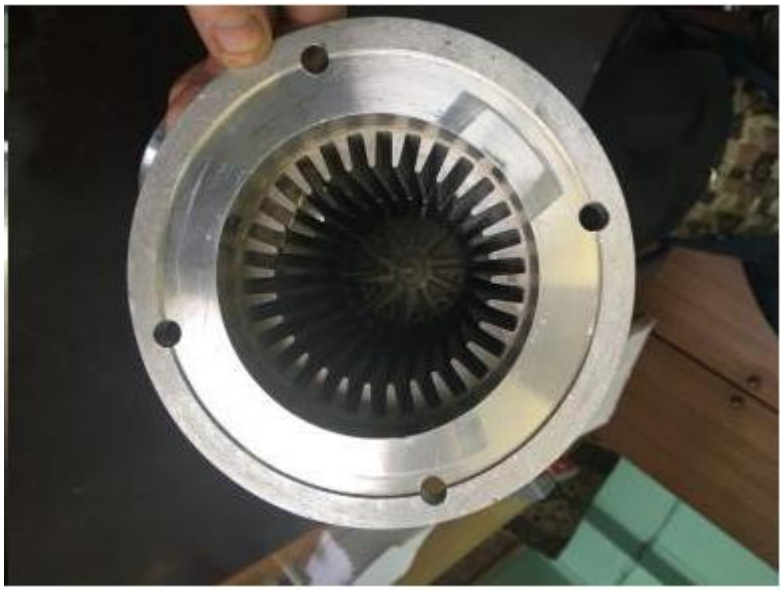


Рис. 3. Оригинальный теплообменник подогревателя

Для проверки тепловых характеристик был разработан и изготовлен стенд, схема которого представлена ниже. Для тепловыделения использовалась газовая горелка.

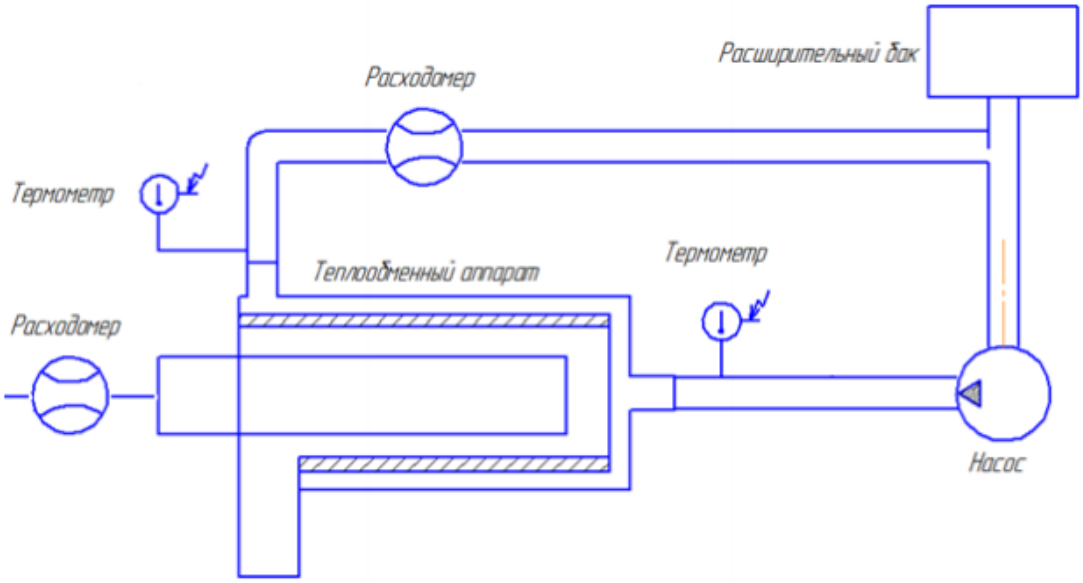


Рис. 4. Схема испытательного стенда

Ниже представлен теплообменник в составе стенда

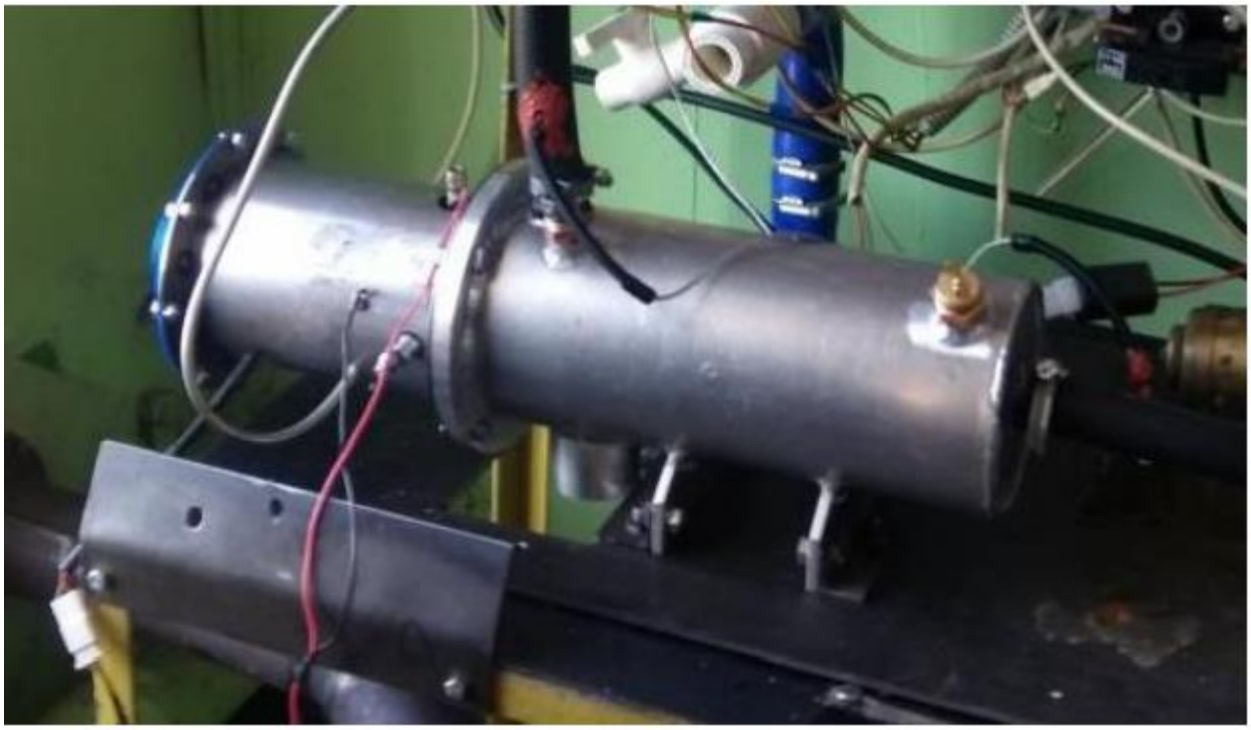


Рис. 5. Теплообменник, установленный на стенде

Замеры температуры и расхода показали, что жидкость получала около 14900 Вт теплоты, при производительности горелочного устройства 17350 Вт. В результате кпд составил 85%. Это является достаточно хорошим показателем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мухачев Г.А., Щукин В.К.* Термодинамика и теплопередача. – М.: Высшая школа, 1991, 480 с.

2. *Кобельков В.Н., Улас В.Д. Федоров Р.М.* Термодинамика и теплопередача. Под ред. Р.М.Федорова. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2012 г. 328 с.

3. *Хисматуллин Р.М., Березин В.В., Ахметшина Э.Р., Салахов Р.Р.* «Проведение моделирования работы модифицированной системы охлаждения авиационного поршневого двигателя», XIV Королёвские Чтения, 2017.

4. *Дж.Фрайден.* «Современные датчики. Справочник». Москва.: Техносфера, 2005.

5. *Гордюхин А.И., Гордюхин Ю.А.* Измерение расхода и количества газа и его учет. - Л.: Недра, 1987.

6. *Катыс Г.П.* Объемные расходомеры. М.-Л.: Энергия, 1965,

DEVELOPMENT OF A HEAT EXCHANGE EQUIPMENT FOR PRESET GAS HEATER

Kalimullin R.

rrkalimullin@kai.ru

Supervior: R. Salakhov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

V. Varsegov, Doctor of Technical Sciences, Professor

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

Modern car preheaters must meet strict limitations in terms of both size and weight. This complicates the calculation and development of individual elements of the heater, as well as the process of its work as a whole. The paper solves the problem of calculating and designing a high-loaded heat exchange part of a preheater in a vehicle that runs on gas fuel.

УДК.554.452

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ГОРЕНИИ ПММА В ВЫСОКОЭНТАЛЬПИЙНОМ ПОТОКЕ

Каргапольцев В.В., Будин А.Г., Позолотин А.П.

Ip.kargapoltsev@mail.ru

Научный руководитель: И.А. Зырянов, канд. техн. наук

(Вятский государственный университет, г. Киров)

Исследовано распределение температуры в топливном блоке полиметилметакрилата цилиндрической формы с осевым каналом, горящего в высокоэнтальпийном потоке. По полученным результатам рассчитан тепловой поток в топливе, который составляет на поверхности 338 кВт/м^2 . Произведена оценка массового расхода горючего, полученные результаты хорошо совпадают с экспериментом.

Процессы, основанные на сжигании полимеров, лежат в основе работы большого количества энергетических установок. Поэтому актуальной задачей является изучение самого процесса горения и распределения температур в объеме вещества. В работе ставится задача исследования распределения температур в объеме топливного блока (материал полиметилметакрилат - ПММА) при канальном горении в высокоэнтальпийном потоке.

Изучение распределения температуры проведено на экспериментальном стенде, подробно описанном в [1]. Плотность потока окислителя (кислорода) в эксперименте составляла 15 кг/м^{2}с. Линейная скорость горения ПММА при данном расходе окислителя составляет 0,14 мм/с [1]. Измерение температуры проводилось с помощью хромель-алюмелевых микротермопар с диаметром спая 60 мкм. Термопары были вклеены в топливный блок на разной глубине. Показания термопар регистрировались с помощью платы сбора данных с компенсатором холодного спая, производящей измерения трижды в секунду. С помощью градуировочных таблиц справочника температурных измерений [2] показания термоЭДС переводились в градусы Цельсия.

Изменения показаний термопар с течением времени представлены на рис.1. По графикам видно, что кривые температур качественно похожи. Верхний предел измерения температуры и появление разброса показаний при температуре выше 1200^{0}С обусловлен попаданием термопары в область пламени и ее сгоранием.

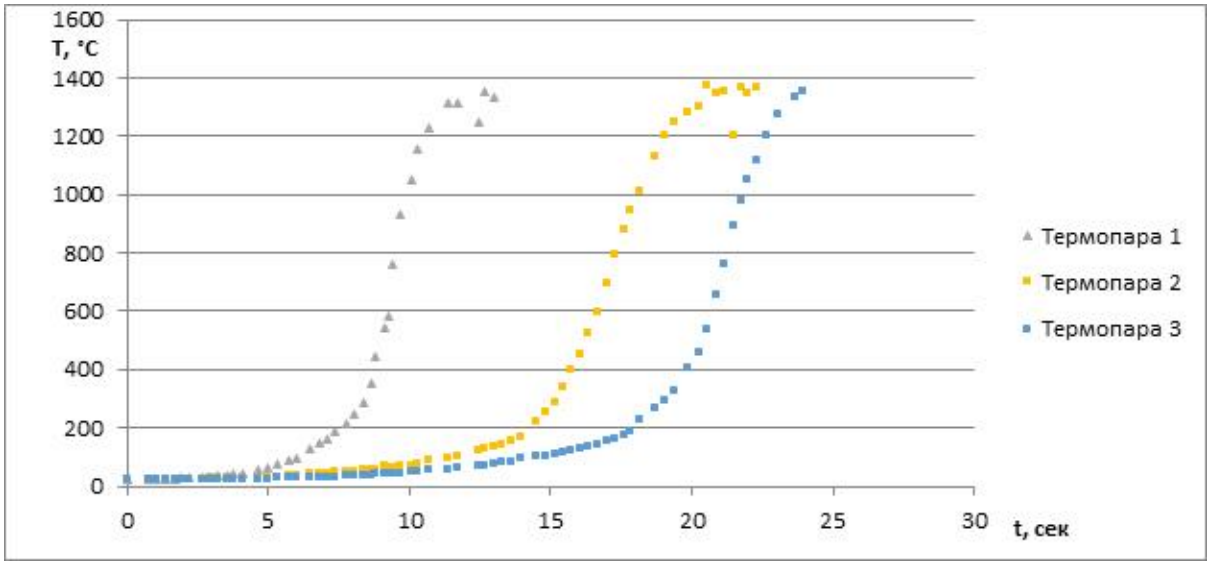


Рис. 1. Температура в блоке в различные моменты времени

В диапазоне температур от 20 до 800^{0}C на графиках обнаруживаются две точки излома: первая вблизи 200^{0}C, вторая около 400 ^{0}C. Исходя из [3], первая точка излома соответствует границе области, в которой начинаются процессы терморазложения, а вторая – соответствует температуре поверхности ПММА при его горении.

Для вычисления теплового потока в блоке ПММА при его горении показания с графиков, представленных на рис.1., пересчитаны с учетом известной линейной скорости горения в распределение температуры по объему топлива (рис.2). За начало координат выбрана поверхность топлива (координата второго излома), положительной областью графика является областью внутри топлива, отрицательной - газовая фаза. По графикам видна хорошая воспроизводимость результатов измерений. При горении в высокоэнтальпийном потоке прогревается только небольшой участок топливного блока вблизи поверхности на глубине порядка 1,5 мм.

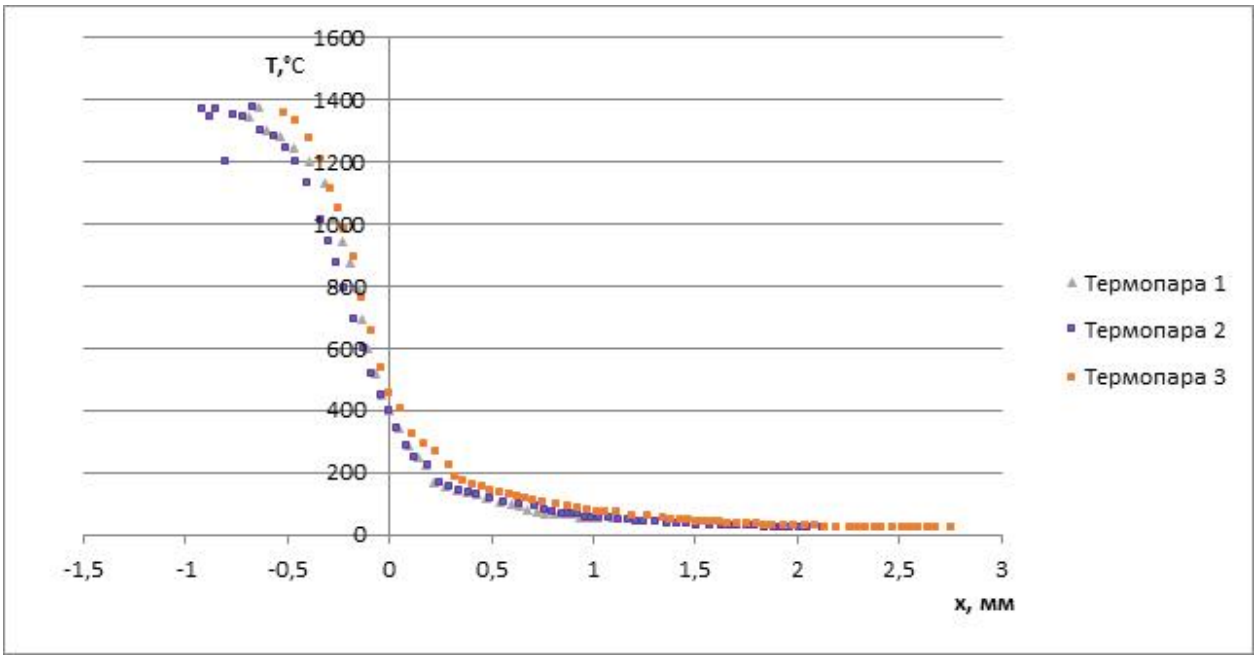


Рис. 2. Распределение температуры по глубине образца

Расчет теплового потока в топливном блоке проведен при следующих допущениях:

первое – полагается, что теплопроводность ПММА постоянная и составляет 0,25 Вт/(м·К)[4]; второе - для расчета использован закон Фурье для случая плоской поверхности. Результаты расчета, полученные при данных допущениях, представлены на рис. 3. При этом тепловой поток на поверхности топлива оказывается равным 338 кВт/м^2.

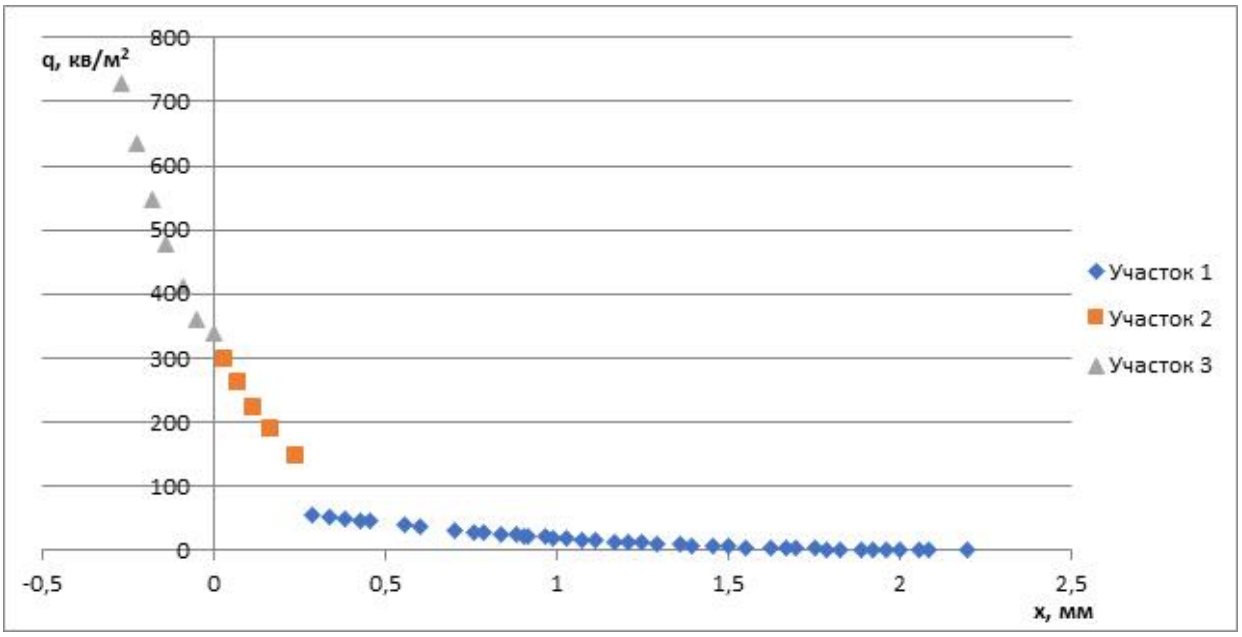


Рис. 3. Зависимость теплового потока от расстояния до поверхности блока ПММА

Проведем оценку массового расхода горючего $\dot{m}$. Расчет выполним исходя из баланса энергии на поверхности горящего канала топливного блока по формуле: $\dot{m} = \frac{q \cdot S}{q_\partial}$, где q - плотность теплового потока на поверхности блока, q_∂ - суммарная теплота, необходимая для термодеструкции ПММА (q_∂=1600 кДж/кг [4]), S - площадь поверхности горения топлива (S=0,013 м^2 [1]). В результате расчета получается $\dot{m} = 2{,}6 \frac{г}{с}$, экспериментально определенное значение составляет $\dot{m} = 2{,}4 \frac{г}{с}$, что говорит о хорошем совпадении данных расчета и эксперимента.

В работе представлены результаты экспериментального изучения распределения температуры в топливном блоке ПММА, горящем в высокоэнтальпийном потоке, создаваемом в цилиндрическом канале блока. Рассчитана плотность теплового потока по объему топлива, которая на поверхности блока составляет 338 кВт/м^2. По полученному тепловому потоку рассчитан массовый расход горючего, который хорошо совпадает с экспериментальным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Решетников, С.М.* Влияние электростатического поля на скорость горения в гибридном ракетном двигателе / С.М. Решетников, И.А. Зырянов, А.П. Позолотин, А.Г. Будин // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2015. – Т. 71. – С. 52-57

2. *Геращенко О. А.* и др. Температурные измерения: справочник //Киев: Наукова думка. – 1984. – Т. 495.

3. *Решетников С. М.* и др. Особенности высокотемпературного разложения полиметилметакрилата в электростатическом поле //Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19. – №. 3.

4. *Штейнберг А.* Быстрые реакции в энергоемких системах. Высокотемпературное разложение ракетных топлив и взрывчатых веществ. – Litres, 2018.

INVESTIGATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION DURING PMMA COMBUSTION IN A HIGH-ENTHALPY FLOW

Kargapoltsev V., Budin A., Pozolotin A.
Ip.kargapoltsev@mail.ru
Supervisor: I. Zyryanov, Candidate of Technical Sciences
(Vyatka State University, Kirov)

The temperature distribution in a cylindrical polymethyl methacrylate fuel block with an axial channel burning in a high-enthalpy flow is investigated. According to obtained results, the heat flux in the fuel was calculated, which is 338 kW/m^2 on the fuel surface. Fuel mass flow rate is estimated, the results agree well with the experiment.

УДК 621.694.2+621.452

СРАВНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КРИВОЛИНЕЙНОГО И ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ЭЖЕКТОРОВ

Картас С.С., Александров Ю.Б.
Научный руководитель: В.И. Панченко, канд. техн. наук, доцент
salar.saber@mail.ru
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В работе приведен сравнительный анализ результатов численного расчета течения жидкости в криволинейном и прямолинейном эжекторах. Определены коэффициенты эжекции.

Эжектором называется аппарат, в котором полное давление пассивного потока увеличивается под действием струи, более высоконапорного потока [1]. Эжектор работает в широком диапазоне параметров, в установках с авиационными двигателями [2], эжекторы используются для разбавления продуктов сгорания на выходе двигателя относительно холодным атмосферным воздухом [3], а также для увеличения тяги в стационарных установках [4].

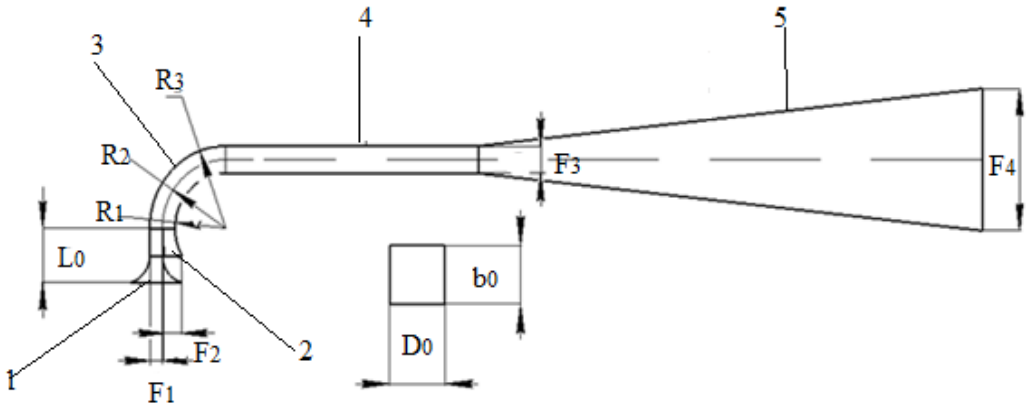


Рис. 1. Схема криволинейного эжектора

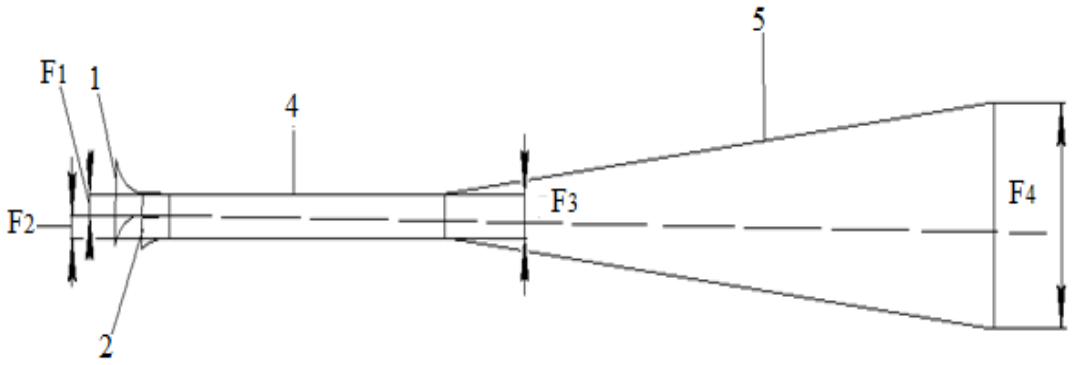


Рис. 2. Схема прямолинейного эжектора

Эжектор (рис. 1 и 2) состоит из сопла высоконапорного потока 1, сопла низконапорного потока 2, камеры смешения 4, диффузора 5, при этом начальный участок камеры смешения 3 является криволинейным (рис.1) или прямолинейный (рис. 2).

Жидкостной эжектор – это смеситель жидкостей, отличительным признаком которого является криволинейный входной участок, обеспечивающий уменьшение потерь давления в эжекторе за счет снижения средней скорости активного потока (рис. 1). В традиционных эжекторах этот участок-прямолинейный (рис. 2). Входной, криволинейный участок камеры смешения обеспечивает перераспределение скорости на срезе сопла высоконапорного потока по закону свободного вихря, при этом максимальное значение скорости обеспечивается на границу сопел высоконапорного и низконапорного (пассивного) потоков. Благодаря большей скорости на срезе сопла пассивного потока происходит эжектирование большего количества низконапорной жидкости, по сравнению с прямолинейными эжекторами при прочих равных условиях [5].

Коэффициент эжекции $n = \frac{G_2}{G_1}$ это относительный расход жидкости, который зависит от площадей сопел, от плотности и их начальных давлений, от режима работы эжектора.

В работе даны результаты расчета характеристики $(\frac{P_4^* - P_2^*}{P_1^* - P_2^*} = \mathcal{F}(n))$ криволинейного и прямолинейного эжекторов при одинаковых размерах. Как видно на рис. 3, при одинаковых коэффициентах эжекции относительный перепад получается больше у криволинейного эжектора до значения 40%. Численный расчет проводился в стационарной постановке с использованием программы Fluent и модели турбулентной вязкости *k-e RNG*. На основе предварительных расчетов и анализа сеточной независимости получаемых результатов выбирались сеточные модели.

В настоящей статьи приведены результаты расчетов для криволинейного эжектора с относительным радиусом кривизны криволинейного участка камеры смешения R_2/D_0=2.

Вывод:

• При одинаковых коэффициентах эжекции относительный перепад давлений у криволинейного эжектора больше чем в прямолинейном эжекторе до 40 %. Поэтому эжекторы с криволинейной камерой смешения часто являются более эффективными.

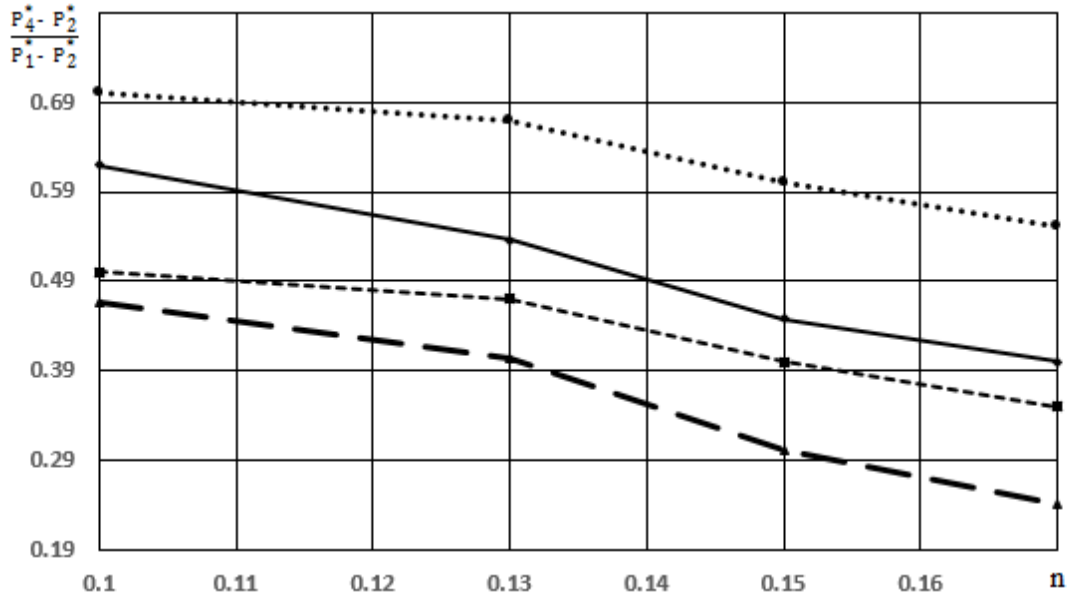


Рис. 3. Сравнение характеристик эжекторов:
эксперимент для криволинейного [6], расчет для криволинейного,
эксперимент для прямолинейного [6], расчет для прямолинейного

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Абрамович Г.Н.* Прикладная газовая динамика. Москва: 1976. 888 с.

2. *Бакулев В.А., Голубев. В. А., Крылов Б. А.* и др.; Под редакциями Сосунова В. А., Чепкина В. Теория, расчета и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Москва. Изд-во МАИ, 2003. 668с.: ил.

3. *Кузьмин В.А., Панченко В.И., Сыченков В.А., Бикбулатов Р.Р.* Методика расчета эжекторов, применяемых в промышленности и энергетика. Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. - Днепропетровск: НПВК "Триакон". - 2012. - Вып. 2(10). - С. 92 – 95.

4. *Монахова Вероника Павлова*. Исследование эжекторных усилителей тяга (ЭУТ) диссертации. Москва,2005.

5. *Панченко В И. Сыченков В.А. Халиулин Р.Р. Александров Ю.Б. Мухаметгалиев Т. Х. Давыдов Н.В.* Разработки Кафедры (РДЭУ) (КНИТУ-КАИ), Казань.

6. *Халиулин Р.Р.* Повышение эффективности энергетических ГТУ с применением эжекторных систем: дис. канд. техн. наук : 05.07.05 науч. руков.: к.т.н., доц. В.А. Сыченков ; ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева. - Казань, 2018. - 136 с.

COMPARISON OF CHARACTERISTICS OF CRYVOLINEAR AND RECTAL LINEAR EJECTORS

Kartas S., Aleksandrov Yu.
salar.saber@mail.ru
Supervisor: V. Panchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The paper presents a comparative analysis of the results of numerical calculation of fluid flow in a curvilinear and straight-line ejectors. The ejection coefficients are determined.

УДК 62-685

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Кузин А.А., Нестеров П.И.
a250896@rambler.ru
Научный руководитель: А.В. Гимбицкий, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Рассматривается проблема использования энергии выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания, приведены существующие конструктивные решения использующиеся на данный момент установки. Приведена основная тенденция развития двигателей внутреннего сгорания.

Изучая тенденции мирового двигателестроения на протяжении всей истории существования двигателей внутреннего сгорания, можно прийти к выводу, что повышение коэффициента полезного действия (КПД)-главная цель модернизации существовавших и существующих моделей двигателей. Однако за прошедшее время методы получения более высоких значений КПД были практически исчерпаны. Относительно новым методом повышения КПД является новый взгляд на отбор энергии выхлопных газов с помощью изменения конструкции выхлопного коллектора. Данное метод достаточно актуален, в частности, в современном автомобилестроении и не так давно стало использоваться ведущими мировыми автопроизводителями.

В настоящее время энергию выхлопных газов используют для повышения мощность путем трансформации тепловой энергии в механическую. Например, двигатели внутреннего сгорания с турбо-наддувом. Даже при использовании данных установок энергия выхлопных газов остается достаточно высока, однако, впоследствии она никак не используется. И поэтому её можно использовать для повышения КПД.

На данный момент известны следующие технические решения данной проблемы:

1. Интегрированный выпускной коллектор (ИВК).

Это выпускной коллектор, отлитый непосредственно в головке блока цилиндров двигателя как единое целое и охлаждающийся антифризом. Данное техническое решение имеет как ряд преимуществ, так и ряд недостатков. К преимуществам относятся: ускоренный выход на рабочие температуры, улучшение смазочных свойств, уменьшение расхода топлива и уменьшение вредных выбросов. К недостаткам относится: снижение теплового КПД, потенциал устройства отчистки не используется на 100 %.

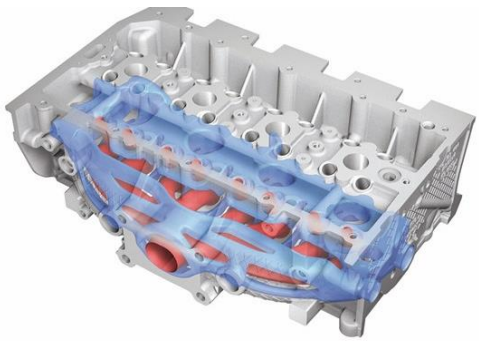


Рис. 1. Головка блока цилиндров мотора VW с ИВК

2. Интегрированный выпускной коллектор, оснащенный термической изоляцией.

Данное техническое решение основано на вышеуказанной модели ИВК, однако имеет ряд улучшений, главными из которых является разделение выпускного коллектора и головки блока с помощью термической изоляции (полость, выполненная в материале головки блока цилиндров). Данное улучшение полностью исключает недостаток, связанный с потенциал

работы очистного устройства. Помимо этого непосредственно выпускной коллектор выполнен из нержавеющей стали, так как характеристики теплового расширения оптимальны для обеспечения герметичностью его соединения с устройством очистки, причем при любых температурах. Данная конструкция полностью нивелирует все основные преимущества ИВК, поскольку коллектор не имеет контакта с охлаждающей жидкостью. Это приводит к тому, что двигатель медленно прогревается до рабочих температур, что в свою очередь негативно влияет на топливную экономичность, долговечность и экологичность двигателя.

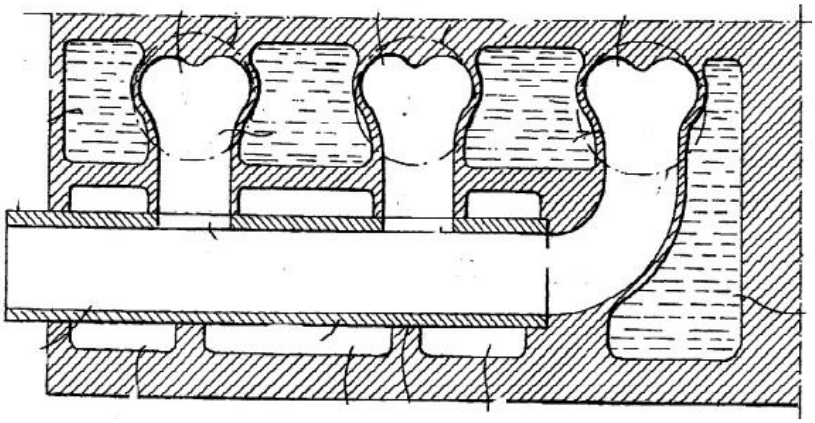


Рис. 2. ИВК, оснащенный термической изоляцией

3. Установка «Глушитель-утилизатор»

Так же одним из видов использования энергии выхлопных газов может выступать так называемый «глушитель-утилизатор», описанный в патенте F01N5/02, который представляет собой последовательно соединенные между собой теплообменник и глушитель (утилизатор). В данном случае тепло выхлопных газов ДВС может быть использовано для получения электрического тока или для отопления салона транспортного средства. Большим плюсом данного агрегата является то, что присутствует вариация использования энергии, в частности внутри корпуса может быть установлен аппарат, с помощью которого можно получить электроэнергию непосредственно из выхлопных газов.

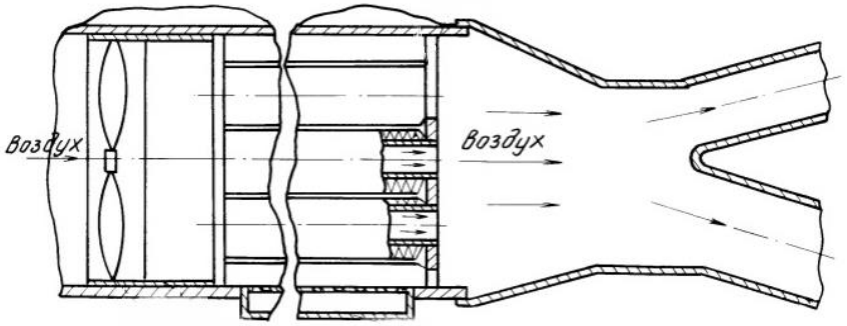


Рис. 3. «Глушитель-утилизатор»

4. Система утилизации тепла «СУТ»

Еще одним видом утилизации тепла выхлопных газов, а также отвода тепла от ДВС, является система утилизации тепла (СУТ), производимая компанией «ТМ МАШ». Данная установка состоит из двух основных элементов: утилизатора тепла отработавших газов (УТГ) и утилизатора тепла антифриза (УТА). Первой ступенью данной системы является УТА, который представляет собой теплообменный аппарат, отводящий тепло из системы охлаждения с помощью жидкости. Второй ступенью данной системы является УТГ, который представляет собой теплообменный аппарат, интегрированный в глушитель. В нем

происходит охлаждение выхлопных газов с помощью жидкости, поступающей из УТА. Плюсом данной системы является то, что реализуется совместный отвод тепловой энергии как с выхлопных газов, так и из системы охлаждению.

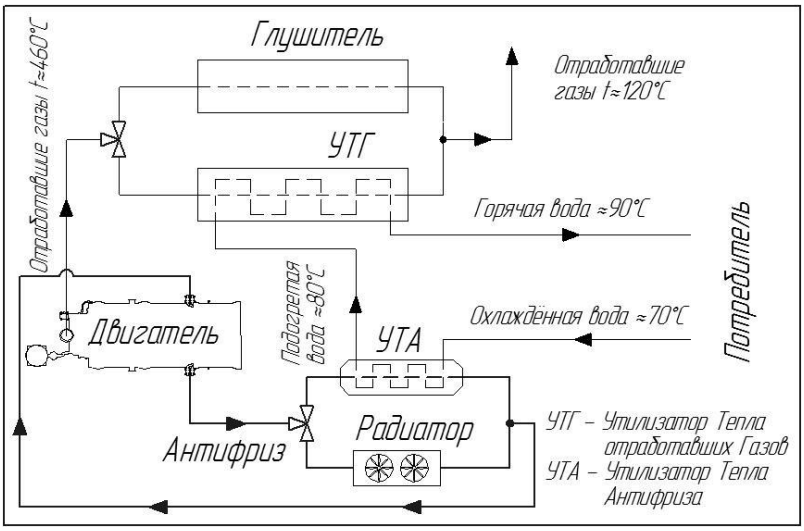


Рис. 4. «СУТ»

В данной статье были рассмотрены прогрессивные виды использования энергии выхлопных газов. Были описаны основные преимущества и недостатки различных конструктивных решений и установок. В дальнейшем планируется создать прототип установки, которая бы учитывал все преимущества и недостатки вышеописанных конструкций и решений и удовлетворяла бы всем потребностям мирового автомобилестроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Дьяченко Н.Х., Дашков С.Н.* «Теплообмен в двигателях и теплонапряженность их деталей», изд. «Машиностроение», 1969 г.

2. *Robert Bosch GmbH*. Bosch Automotive Handbook. 8th Edition: P/O/ Box 10 60 50, D-70049 Stuttgart, Federal Republic of Germany.

3. *Корнюшин А. Н.* Патент РФ 2044137, 1995 г.

USE OF EXHAUST GAS ENERGY
IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Kuzin A., Nesterov P.
a250896@rambler.ru
Supervisor: A. Gimbitsky, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The problem of using the energy of exhaust gases of internal combustion engines is considered, the existing design solutions used at the moment of installation are given. The main development trend of internal combustion engines is given.

УДК 621.45.023;621.45.026

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУЧШЕЙ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА ПЛАМЕНИ

Ли Цзывань, Юсеф В.М.
liziwan_11@163.com
Научный руководитель: В.Л. Варсегов**,** канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Ввиду сложности аэродинамического механизма стабилизации пламени и характеристик течения газодинамического стабилизатора пламени (ГСП), для повышения точности расчета с помощью метода CFD , в статье сделаны теоретический анализ и расчетное исследование разных моделей турбулентности в программном комплексе ANSYS Fluent, и сделаны сравнения с экспериментальными данными, получена наилучшая модель турбулентности для моделирования ГСП- SST k-ω.

1 Введение

Аэродинамический стабилизатор пламени имеет ряд преимуществ, таких как высокая надежность, небольшие потери давления и тяги в бес форсажных режимов, высокая полнота сгорания, широкая стабильная граница, малое инфракрасное излучение, гибкая и простая регулировка [1] [2], Он обладает большим потенциалом применения в форсажной камере сгорания, промежуточной камере, двигателе с переменным циклом и прямоточной двигателе.

В целях экономии затрат на исследования и ускорения исследований большинство исследователь используют численные методы моделирования для изучения среднего поля потока газодинамических стабилизаторов пламени (далее ГСП). Ввиду модель турбулентности оказывает большое влияние на результаты моделирования, поэтому необходимо фундаментально проанализировать и сравнить модели турбулентности, и выбрать наилучшую модель для обеспечения точности и эффективности исследований численного моделирования.

Эта статья выбраны 4 разные модели турбулентности: k-ε Stand, k-ε Real-izable, SST k-ω и RSM-linear pressure-strain, которые широко используются для сложной турбулентности потока, и сделаны расчетные исследования с помощью этих четырех моделей турбулентности на холодное состояние ГСП, сделаны сравнивания полученных характеристик потока с экспериментальными результатами и выбраны наилучшая модель турбулентности для численного моделирования ГСП.

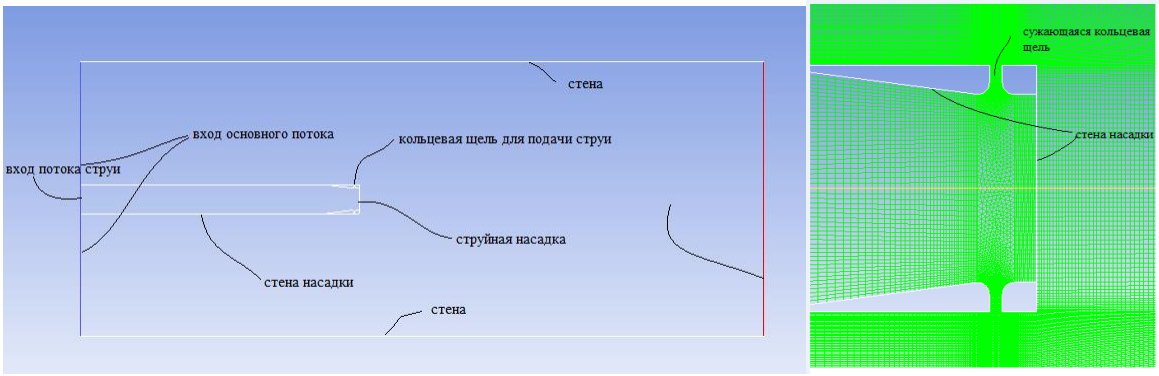
2 Расчетное исследование

Профессор Костерин из Казанской авиационной института [3] показал в экспериментах, что аэродинамические параметры $q = {\rho_j v_j^2}/{\rho_o v_o^2}$ являются параметрам подобии для веерных струи в основном потоке. При $q = const,$ параметры зоны обратных токов, зоны рециркуляции и траектории струи не меняются, когда изменяются параметры потока и параметры струи, а остаются постоянными. Поэтому, чтобы сохранить сопоставимость, необходимо обеспечить, чтобы аэродинамические параметры q в численных моделированиях соответствовало в экспериментах.

2.1 Расчетная модель и построение сетки

Модель форсажной камеры упрощена до цилиндрической трубы длиной 500 мм и диаметром 200 мм. Устройство со струйным соплом расположено соосно в центре трубки. Как показано на рис.1, на кольцевой стенке насадки устройства струи существует небольшой кольцевой зазор. Направление щели перпендикулярно поверхности стенки для обеспечения струи $\beta_0 = 90^0$. Через щели можно распылить воздуха, топливовоздушной смеси или

газообразного топлива, перпендикулярного направлению основного потока. Устройство струй - маленькая трубка имеет диаметр 20 мм, длину 200 мм и ширину щели 1,12 мм.



A B

Рис. 1. Схема расчетной модели

В качестве объекта анализа берутся результаты испытаний при $q = {\rho_j v_j^2}/{\rho_o v_o^2} = 30$, 20 и

50. Чтобы обеспечить сходство с испытанием, в численном моделировании также необходимо гарантировать $q = {\rho_j v_j^2}/{\rho_o v_o^2} = 30$, 20 и 50.

3.3 Граничные условии

Чтобы избежать введения различных моделей сгорания и генерирования множества переменных факторов, только газодинамические характеристики за ГСП в условиях отсутствия сгорания изучаются с целью изучения наилучшей модели турбулентности. Поэтому все компоненты основного потока и струи представляют собой чистый воздух. При $q = {\rho_j v_j^2}/{\rho_o v_o^2} = 30$, 20 и 50 расходы потока на входе основного потока составляет 1,39 кг/с,

1,38кг/с, 1,38кг/с, полная температура - 488 К, статическое давление - 101325 Па, состав - воздух, расход на входе струи - 0,019 кг/с, 0,01518 кг/с, 0,02522 кг/с, полная температура составляет 488 К, статическое давление составляет 101325 Па, и компонент также представляет собой воздух. Выбор вышеуказанных граничных условий гарантирует, что значения q равны 30, 20 и 50 соответственно.

4 Результаты расчетов и обсуждение

4.1 Результаты моделирования аэродинамических характеристик ГСП при $q = 30$

Чтобы точно и количественно сравнить с результатами испытаний, необходимо получить траекторию струи, которая представляет собой поверхность, образованную точкой максимальной скорости каждого поперечного сечения при взаимодействии струи с

основным потоком, и имеет форму, близкую к параболоиду вращения, назовем купол. При численном моделировании выбраны несколько сечении и получены координаты точек с максимальной скорости на каждом сечении, соединяются этих точек, и получаем траекторию струй. Преобразуем траекторию струй на координат $x/\sqrt{b_0 d_0}$ и $y/\sqrt{b_0 d_0}$, и сравниваем с

экспериментальными данными[4] как в Рис 2.

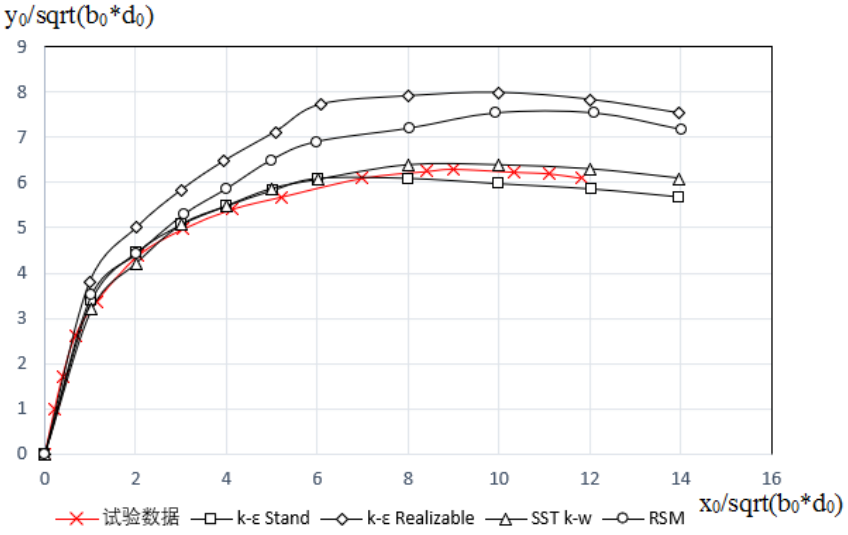


Рис. 2. Траектории струй, получаемые при разных моделях турбулентности и эксперименте ($q = 30$)

Из рис 2 видно, что общие формы траектории струи при разных моделях турбулентности всё являются параболической, и ширина траектории струи постепенно увеличивается вдоль направления основного потока, но достигает максимума после достижения определенной степени, затем смещается вниз из за обратным потоком зоны рециркуляции. Но размер траектории струи при разных моделях турбулентности отличаются: результаты расчета при модели турбулентности k-ε Realizable и RSM значительно больше результатов испытаний, а при моделях k-ε Stand и SST k-ω результаты расчетов близки к экспериментальным.

4.2 Результат моделирования ГСП при $q = 20$

Таким же образом получается траектория струи при различных моделях турбулентности, преобразуется в систему координат $x/\sqrt{b_0 d_0}$ и $y/\sqrt{b_0 d_0}$, и сравнивается с

экспериментальными данными [4], как показано на рис. 3.

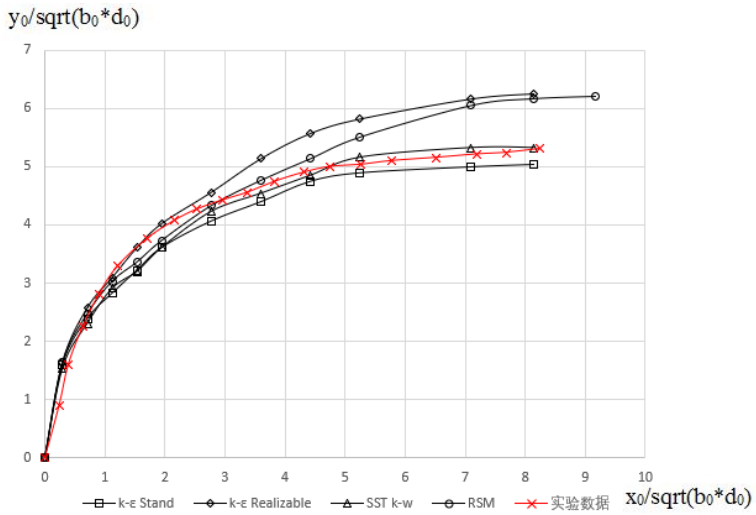


Рис. 3. Траектории струй, получаемые при разных моделях турбулентности и эксперименте ($q = 20$)

Траектория струи, показанная на рис. 8, имеет параболическую форму, как и в случае $q = 30$. Для размера траектории струи, результаты расчета четырех моделей турбулентности также различаются. Результаты расчета при моделях турбулентности k-ε Realizable и RSM значительно отличаются от результатов испытаний. Результаты расчетов при моделях SST k-ω самый близки к экспериментальным.

4.3 Результат моделирования ГСП при $q = 50$

Таким же образом получается траектория струи при $q = 50$ и различных моделях турбулентности, преобразуется в систему координат $x/\sqrt{b_0 d_0}\, q^{1.3} 10^{-2}$ и $y/\sqrt{b_0 d_0}$, и сравнивается с экспериментальными данными [4], как показано на рис.4.

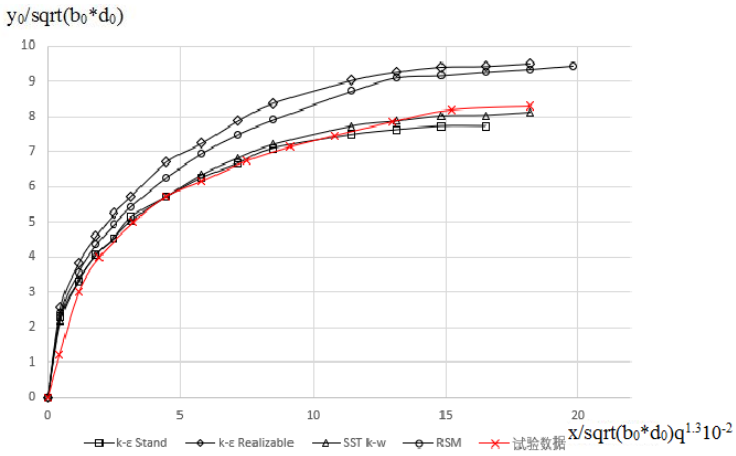


Рис. 4. Траектории струй, получаемые при разных моделях турбулентности и эксперименте ($q = 50$)

Из рис. 4 видно, что при $q = 50$ результаты расчета при моделях турбулентности k-ε Realizable и RSM значительно отличаются от результатов испытаний. Результаты расчетов при моделях SST k-ω наилучше совпадает с экспериментальными результатами.

5 Вывод

Сравнительный анализ расчетных значений и экспериментальных данных траектории струи при различных моделях турбулентности в трех различных значений газодинамической параметры q, позволяет сделать следующие выводы:

Размер траектории струи, полученный по моделям k-ε Realizable и RSM имеет тенденцию быть больше экспериментального значения, и значение относительной погрешности больше. Размер траектории струи, полученный с помощью модели турбулентности k-ε Stand, имеет тенденцию быть меньше экспериментального значения. Результаты расчетов по модели k-турбулентности SST могут наилучшим образом соответствовать экспериментальным результатам, и результаты расчетов являются наиболее стабильными и надежными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Jin Li, Tan Yonghua*. Study on flameholders[J]. Journal of Rocket Propulsion.2006,32(1):30-34.

2. *Zhang Xiaochun, Sun Yuchao, Liu Tao*. Summary of Advanced Afterburner Design Technology [J]. Journal of Aeroengine.2014,40(2):24-30.

3. *Костерин, В. А*. Расчёт камеры сгорания со стабилизаторами пламени Текст [R]. */ В. А. Костерин, Б. А. Рогожин и В. Т. Дудкин*- в межвуз. сб.: Горение в потоке. 1970. вып. 124. - С. 141-159.

4. *Лебедев Б.П., Костерин В.А., Гордон М.С., Зикеев В.С., Носов Л.А.* Аэродинамическая стабилизация пламени в форсажных камерах ТРДФ. / Труды ЦИАМ №781. – М.: ЦИАМ, 1977. 246 с.

STUDY OF BEST TURBULENCE MODELS IN SIMULATION ON FLOW CHARACTERISTICS OF AERODYNAMIC FLAMEHOLDER

Li Ziwan, Yousef W.

liziwan_11@163.com

Supervisor: V. Varsegov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

In view of the complexity of aerodynamic flame stabilization mechanism and flow characteristics in aero-engine, in order to improve the accuracy of the CFD method for the simulation of complex flow processes of aerodynamic flameholders, The article contains a theoretical analysis and computational study of different turbulence models in the ANSYS Fluent software package, and makes comparisons with experimental data. Comparison shows that the calculation results under the SST k-ω turbulence model can better match the experimental results.

УДК 621.43:629

РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ СИСТЕМ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО И АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Львов М.В., Каськов А.С., Кошелев Д.В.
miha.lev@mail.ru
Научный руководитель: В.А. Алтунин, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

На основе результатов экспериментальных исследований показаны пути увеличения ресурса, надёжности и эффективности систем смазки двигателей и энергоустановок летательных аппаратов. Разработаны и показаны новые запатентованные конструктивные схемы масляных систем повышенных характеристик двигателей и энергоустановок летательных аппаратов.

Исследование и изучение трудов великого К.Э. Циолковского [1, 2] показывает, что его идеи по разработке и созданию воздушно-реактивных двигателей (ВРД), воздушно-космических самолётов (ВКС), различных способов старта летательных аппаратов (ЛА) в космическое пространство, включая старт с борта самолёта – авиаматки, сбылись и продолжают сбываться в наши дни. Современные двигатели ЛА (самолётов - разгонщиков, самолётов – авиаматок, ВКС) – это ВРД различных типов и классов, гибридные двигатели (ВРД + жидкостные ракетные двигатели (ЖРД) и энергоустановки (ЭУ) и др.).

В различных ВРД, гибридных двигателях и ЭУ ЛА применяемые авиационные моторные масла находятся в очень сложных термодинамических условиях [3, 4]. Современные системы смазки должны надёжно обеспечивать: смазку подвижных деталей; охлаждение нагретого масла; фильтрацию, очистку и восстановление многоциклового масла; прокачку масла по всем каналам смазки и охлаждения; работу системы контроля за работой системы смазки.

Одним из опасных тепловых процессов в моторных авиационных маслах является процесс осадкообразования [3-18]. Проблемы закоксовывания масляных форсунок существуют не только в поршневых двигателях и ЭУ, но и в ВРД, в гибридных двигателях и ЭУ наземного, воздушного и аэрокосмического базирования и применения.

Из-за осадкообразования могут происходить и происходят: аварийные ситуации, связанные с частичным и полным закоксовыванием маслоподающих и маслоохлаждающих каналов, масляных форсунок и масляных фильтров; преждевременные и несанкционированные выходы из строя масляных систем и самих двигателей и ЭУ ЛА; срывы и невыполнение поставленных полётных задач; возникновение пожаров и взрывов двигателей, а также самих ЛА. Поэтому экспериментальные исследования тепловых процессов в существующих авиационных моторных маслах и разработка новых конструктивных схем систем смазки двигателей ЛА воздушного и аэрокосмического базирования являются актуальными и необходимыми.

Наиболее ответственные и нагруженные подшипники (например, турбокомпрессорного агрегата в ВРД и др. двигателях и ЭУ ЛА), а также зубчатые и шлицевые соединения имеют принудительную смазку под давлением, осуществляемую с помощью центробежных или струйных форсунок.

В центробежной масляной форсунке [3-8] масло под давлением нагнетающего насоса проходит через сетку и по винтовой канавке стержня распылителя (где его струя закручивается) попадает в калибровочное отверстие корпуса форсунки и распыливается на подшипник. Недостаток форсунок этого типа – насыщение распылённого масла воздухом, вследствие чего ухудшается отвод тепла от подшипника. Поэтому наиболее широко распространены простые по устройству струйные форсунки, представляющие собой трубку с калиброванным отверстием диаметром (1-1,5) мм, из которого смазочное масло под давлением в виде распылённой струи падает на подшипник.

Процесс осадкообразования в системах смазки различных базовых и вспомогательных

ВРД, гибридных двигателях и ЭУ ЛА является очень опасным. Частичное закоксовывание масляной форсунки приводит к недостаточной и нерасчётной смазке и охлаждению подшипников и трущихся деталей, к пригоранию шариков и роликов подшипника, к быстрому выходу из строя всего двигателя или ЭУ. Полное закоксовывание масляной форсунки приводит к ускоренной поломке ВРД или ЭУ. Твёрдые углеродистые частицы осадка быстро забивают сеточные фильтры, каналы, ухудшают стабильную работу всего ВРД или ЭУ. Известно, что масляные форсунки ВРД или ЭУ полностью закоксовываются примерно через 800 часов работы [3-10].

Результаты экспериментальных исследований позволили шире использовать [5-18]:

- магнитные поля (Н) (для очистки масел от металлических эксплуатационных частиц);
- электростатические поля (Е) (для борьбы с осадкообразованием – по его предотвращению и уменьшению; для интенсификации теплоотдачи к моторным маслам и повышения эффективности их охлаждения при естественной и вынужденной конвекции; для восстановления технических свойств масел перед полётом и в ходе полёта; для повышения эффективности очистки масел в ходе полёта; для эффективного смешения двух и более моторных масел и получения нового единого масла с новыми едиными свойствами – при необходимости, например, в сложных климатических, боевых и др. условиях).

Существующими способами и методами борьбы с осадкообразованием в моторных маслах для ВРД, гибридных двигателей и ЭУ ЛА можно считать [3-18]:

- применение специальных антиокислительных, моющих и др. присадок;
- правильный выбор моторного масла для данных двигателей и ЭУ;
- осуществление контроля за масляными фильтрами;
- своевременную смену фильтрующих элементов;
- плановую замену отработанного моторного масла на новое;
- предтопливную обработка масла при помощи магнитных (Н) и электростатических полей (Е);
- очистку масла при помощи Н, Е;
- промывку систем смазки специальными моющими жидкостями (без разборки, с разборкой);
- механическую очистку деталей и каналов масляной системы от осадка (с разборкой);
- промывку каналов масляной системы при помощи специальных жидкостей при термоакустических автоколебаниях давления (для удаления осадка);
- выжигание твёрдого углеродистого осадка в богатом пламени метана;
- замену закоксованных деталей и агрегатов на новые.

Однако, применение различных антиосадкообразующих присадок возможно только до температуры масла или нагреваемых стенок каналов 473К, при дальнейшем повышении температуры осадок начинает появляться и расти. Все другие методы являются малоэффективными и очень затратными по временным, технологическим и экономическим показателям.

Существующая система контроля способна контролировать температуру и давление в системах смазки (в основном на фильтрах), отсутствует конкретный контроль за появлением углеродистого осадка и его ростом в масляных каналах, в масляных форсунках.

Отсутствуют эффективные системы пассивной и активной борьбы с осадком: по его предотвращению, уменьшению, ограничению и удалению без разбора ВРД, гибридных двигателей и ЭУ ЛА. Экспериментальные исследования показали, что Н практически очень слабо влияют на интенсификацию теплоотдачи к моторным маслам и вообще не влияют на предотвращение осадкообразования в них. Видимо, поэтому Н используют в масляных системах различных двигателей и ЭУ, в основном, для очистки масел от металлических примесей, которые образуются при эксплуатации.

Электростатические поля (Е) оказывают значительное влияние на увеличение коэффициента теплоотдачи к моторным маслам в условиях естественной конвекции (до 450%), а самое важное – они способствуют предотвращению осадкообразования в зоне

прохождения силовых линий Е. Поэтому Е можно отнести к перспективным способам борьбы с осадкообразованием в моторных маслах. Применение Е в системах смазки может увеличить ресурс их работоспособности в 2-3 раза.

В ходе экспериментальных исследований было установлено [5-18], что оребрённая нагреваемая поверхность деталей в виде винтовой, кольцевой конической резьбы с высотой зубьев (2-5) мм способна затормаживать негативный процесс осадкообразования на высоту этих зубьев, т.е. такую оребрённую поверхность можно считать новым способом ограничения роста осадка в моторном масле.

Ресурс таких масляных каналов может увеличиться в 2 раза. Ресурс гибридных масляных каналов, где организована борьба с осадкообразованием без Е и с Е одновременно, может быть увеличен в 3-4 раза.

На основе анализа научно-технической и патентно-лицензионной литературы, результатов экспериментальных исследований можно предложить перспективные способы и методы борьбы с осадкообразованием в масляных системах не только ВРД, гибридных двигателей и ЭУ ЛА, но и в поршневых ДВС для ЛА и наземного применения[5-18]:

- применение электростатических полей (Е) внутри масляных систем (для предотвращения и уменьшения осадка);
- изменение конструкции масляных каналов и деталей и их поверхностей (для затормаживания и ограничения процесса осадкообразования);
- обеспечение дополнительной системой охлаждения теплонапряжённых деталей масляной системы до температуры 373К и ниже (для предотвращения осадкообразования);
- резервирование каналов, форсунок, деталей и агрегатов масляных систем (для увеличения их ресурса);
- создание каналов, форсунок с центральной осевой иглой: для контроля за степенью закоксованности; для удаления твёрдого углеродистого осадка; для обеспечения вынужденной конвекции масла за счёт электрического ветра (Е) (при выходе из строя основной насосной системы);
- разработка и применение новых конструктивных схем форсунок охлаждения и смазки подшипников, маслоподводящих и маслоотводящих каналов: без Е; с Е; гибридных (для предотвращения (и уменьшения) осадкообразования, для интенсификации теплоотдачи, для удаления осадка);
- разработка новых конструктивных схем масляных теплообменников: без Е; с Е; гибридных (для интенсификации теплоотдачи, для предотвращения осадкообразования);
- разработка новых конструктивных схем масляных фильтров: без Е; с Е; гибридных (для повышения эффективности очистки и фильтрации масла).
- разработка и создание новых датчиков и систем контроля: за несанкционированным повышением температуры деталей двигателей и ЭУ; за возникновением осадка и его удалением в масляной системе этих двигателей и ЭУ (для своевременного включения в работу систем защиты от осадка и его удаления).

Для повышения надёжности поршневых ДВС, ВРД, гибридных двигателей и ЭУ ЛА и наземного применения также перспективным и необходимым является процесс разработки новых систем их запуска в экстремальных климатических (и боевых условиях): при низких температурах, при разряженных аккумуляторных батареях, при отсутствии запасов сжатого воздуха, при ведении боевых действий и т.д., когда, в первую очередь, возникает потребность разогрева масляной системы – для экстренного запуска различных двигателей и ЭУ, в том числе, и для ЛА.

Авторами предложены новые способы запуска поршневых ДВС, ВРД, гибридных двигателей, ЭУ ЛА и наземного применения - в экстремальных климатических и боевых условиях (см. патенты на изобретения РФ №№2541570, 2541022, 2541570).

На основе анализа научной и патентно-лицензионной литературы, результатов экспериментальных исследований можно предложить следующие направления и способы увеличения ресурса и надёжности систем смазки базовых и вспомогательных поршневых

ДВС, ВРД, гибридных двигателей и ЭУ ЛА и для наземного применения [3-18]:

1. Перед началом проектирования, расчёта и создания систем смазки для различных ДВС необходимо учитывать особенности тепловых процессов в моторных маслах при различных термодинамических условиях, где одним из главных является процесс осадкообразования, его негативные влияния на работу всего двигателя.

2. В ходе проектирования, создания и эксплуатации новых систем смазки двигателей и ЭУ необходимо правильно выбирать способы борьбы с осадкообразованием, где перспективными являются: охлаждение горячих деталей до температуры ниже 373К; конструктивный увод горячих деталей в область с наименьшим нагревом; применение электростатических полей (Е); разработка сменных конструкций; создание новых систем и датчиков контроля за осадкообразованием и его удалением с выводом данных на специальное табло механика-водителя, наземного оператора, лётчика – космонавта, а также в бортовой (наземный, воздушный, космический) компьютер.

3. Создавать новые системы запуска различных двигателей и ЭУ в экстремальных климатических и боевых условиях.

На основе результатов исследования для поршневых ДВС, ВРД, гибридных двигателей и ЭУ ЛА и наземного применения:

а) разработаны и запатентованы: новые конструктивные схемы маслоподводящих и маслоотводящих каналов, масляных форсунок, масляных фильтров, масляных теплообменников повышенных характеристик - без применения Е, с их применением, гибридные; датчики и системы контроля за работой системы смазки (с выводом оперативных данных: для двигателей и ЭУ ЛА - на табло лётчика, лётчика – космонавта и наземного оператора, в бортовой и наземный компьютеры; для двигателей и ЭУ наземного применения – на табло механика – водителя, наземного оператора (номера расчёта), в наземные компьютеры, размещённые непосредственно в образце техники или дистанционно - в пункте управления);

б) созданы: алгоритм учёта особенностей тепловых процессов в моторных маслах; методики применения Е в моторных маслах; способы и методы борьбы с осадкообразованием, необходимые при проектировании, расчёте, создании и эксплуатации новых и перспективных систем смазки.

Разработан пульт управления и контроля за работой системы смазки двигателей и ЭУ ЛА и наземного применения, который позволяет осуществлять более полный и качественный контроль при различных условиях эксплуатации двигателей и ЭУ различного назначения и базирования.

Использование материалов доклада будет способствовать созданию широкого класса новых систем смазки повышенных характеристик по надёжности, ресурсу, безопасности, живучести, выживаемости, эффективности, экономичности и экологичности:

- для базовых (маршевых) и вспомогательных двигателей и ЭУ ЛА воздушного и аэрокосмического применения;

- для различных двигателей и ЭУ наземного применения: сухопутный и водный (надводный, подводный, речной, морской, амфибийный (экранопланы и суда с воздушной каверной и на подводных крыльях) транспорт; мобильные и стационарные электростанции; компрессорные станции; энергосистемы по добыче тяжёлых битумных нефтей (при использовании конверсионных ВРД, ЖРД многоразового использования); станции газоперекачки (при использовании модернизированных ВРД ЛА, а также конверсионных ВРД ЛА) и др. техносистемы.

Доклад сопровождается новыми запатентованными конструктивными схемами масляных систем двигателей и ЭУ ЛА одно – и многоразового использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Циолковский К.Э.* Космические ракетные поезда // Избр. тр. М.: Издательство «Наука», 1962. С. 367-393.

2. *Циолковский К.Э.* Моя жизнь и работа. Цели звёздоплавания // М.: Изд-во «Либреком», 2012. 96 с.

3. *Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М.* и др. Инженерные основы авиационной химмотологии. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2005. 714 с.

4. *Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М.* и др. Горюче-смазочные материалы для авиационных двигателей. Казань: Изд-во «Мастер Лайн», 2002. 400 с.

5. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Щиголев А.А.* и др. Проблемы осадкообразования в моторных маслах двигателей и энергоустановок наземного, воздушного и аэрокосмического базирования // Сб. матер. докл. Всеросс. научно-технич. конф. «7-е Уткинские чтения». С.-Пб: Изд-во БГТУ им. Д.Ф. Устинова («ВОЕНМЕХ»), 2015. С. 71-74.

6. *Алтунин В.А., Щиголев А.А.* и др. Проблемы систем смазки двигателей летательных аппаратов // Матер. докл. Международ. научно-технич. конф. «42-е Гагаринские чтения». М.: Изд-во МАИ, 2016. С. 682-683.

7. *Алтунин В.А., Львов М.В., Каськов А.С., Яновская М.Л.* Применение результатов экспериментальных исследований при создании систем смазки повышенных характеристик перспективных двигателей летательных аппаратов // Матер. докл. международ. научно-технич. конф. «Проблемы и перспективы развития двигателестроения», посвящ. Генеральному конструктору аэрокосмической техники акад. Н.Д. Кузнецову. Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. С. 164-165.

8. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Гортышов Ю.Ф., Щиголев А.А.* и др. Влияние магнитных и электростатических полей на тепловые процессы в авиационных моторных маслах двигателей и энергоустановок летательных аппаратов // Вестник Казанского гос. технич. ун-та им. А.Н. Туполева. 2016. №1. С. 21-31.

9. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Щиголев А.А.* Результаты исследования влияния магнитных и электростатических полей на теплоотдачу и осадкообразование в моторных маслах двигателей летательных аппаратов // Матер. докл. Международ. научно-технич. конф. «Проблемы и перспективы развития двигателестроения», посвящ. Генеральному конструктору аэрокосмической техники акад. Н.Д. Кузнецову. Самара: Изд-во ООО «Предприятие «Новая техника»», 2016. Ч. 1. С. 101-102.

10. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Щиголев А.А.* Исследование возможности применения магнитных и электростатических полей для борьбы с осадкообразованием в авиационных моторных маслах двигателей, энергоустановок и техносистем наземного, воздушного и аэрокосмического базирования // «Известия вузов. Машиностроение». №3 (684). 2017 г. С. 76-88.

11. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Щиголев А.А.* Разработка новых конструктивных схем систем смазки двигателей для гиперзвуковых и аэрокосмических летательных аппаратов // Сб. тез. докл. 41 Академических чтений по космонавтике, посвящ. памяти академика С.П. Королёва и др. выдающихся отечественных учёных – пионеров освоения космического пространства. РАН. РОСКОСМОС. РАКЦ. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана 2017. С. 378-379.

12. *Алтунин В.А., Львов М.В., Каськов А.С.* Пути решения проблем осадкообразования в моторных маслах двигателей и энергоустановок наземного, воздушного и аэрокосмического базирования // Матер. докл. Всеросс. научно-практ. конф. с международным участием: «Новые технологии, материалы и оборудование Российской авиакосмической отрасли», посвящ. 130-летию со дня рождения выдающегося авиаконструктора А.Н. Туполева. («АКТО – 2018»). Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2018. Т. 1. С. 365-369.

13. *Алтунин В.А., Демиденко В.П., Каськов А.С.* и др. Разработка новых способов разогрева и запуска двигателей и энергоустановок двойного назначения в сложных климатических и боевых условиях // Сб. матер. докл. 42 академических чтений по

космонавтике, посвящ. памяти акад. С.П. Королёва и др. выдающихся отечественных учёных – пионеров освоения космического пространства. РАН. РОСКОСМОС. РАКЦ. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. С. 134.

14. *Алтунин В.А., Львов М.В., Каськов А.С., Яновская М.Л.* Применение результатов экспериментальных исследований при создании систем смазки повышенных характери-стик перспективных двигателей летательных аппаратов // Тез. докл. 19 Международ. научно-технич. конф. и школы молодых учёных, аспирантов и студентов «Авиакосмиче-ские технологии» (АКТ – 2018). Воронеж: Изд-во ООО фирма «Элист», 2018. С. 21-22.

15. *Алтунин В.А., Львов М.В., Каськов А.С., Щиголев А.А.* и др. Применение результа-тов экспериментальных исследований для создания новых конструктивных схем систем смазки двигателей летательных аппаратов воздушного и аэрокосмического базирования // Матер. 53-их Научных чтений памяти К.Э. Циолковского: «Идеи К.Э. Циолковского в контексте современного развития науки и техники». (Калуга, 18-19 сентября 2018 г.). Секция №2: «Проблемы ракетной и космической техники». РАН. РАКЦ. Калуга: Изд-во АКФ «Политоп», 2018. С. 124-126.

16. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Львов М.В., Каськов А.С., Щиголев* Исследование тепловых процессов в моторных авиационных маслах и системах смазки двигателей ле-тательных аппаратов // Матер. докл. 43 Академических чтений по космонавтике, посвящ. памяти акад. С.П. Королёва и др. выдающихся отечественных учёных – пионеров освое-ния космического пространства. РАН. РАКЦ. РОСКОСМОС. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. Т. 1. С. 158-160.

17. *Алтунин В.А. (научн. рук.), Львов М.В., Каськов А.С., Шигапов Р.Р.* Разработка ме-тодик расчёта тепловых процессов в авиационных моторных маслах для двигателей и энергоустановок летательных аппаратов // Сб. тез. докл. 45 Международной молодёжной научной конф. «Гагаринские чтения – 2019». М.: Изд-во МАИ, 2019, с. 127.

18. *Алтунин В.А., Львов М.В., Каськов А.С., Щиголев А.А.*, и др. Разработка новых си-стем контроля за тепловыми процессами в системах смазки двигателей летательных ап-паратов // Сб. тез. докл. Всеросс. научно-техн. конф. молодых учёных и специалистов «Авиационные двигателя и силовые установки». М.: Изд-во ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Ба-ранова», 2019. С. 318-319.

DEVELOPMENT OF NEW CONSTRUCTIVE SCHEMES OF LUBRICATION SYSTEMS AIRCRAFT ENGINE AIR AND AIROSPACE APPLICATIONS

Lvov M., Kaskov A., Koshelev D.

miha.lev@mail.ru

Supervisor: V. Altunin, Doctor of Technical Sciences, Professor

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

Based on the results of experimental studies, the ways to increase the life, reliability and efficiency of engine lubrication systems and power plants of aircraft are shown. he new patented design schemes of oil systems of the increased characteristics of engines and power plants of aircraft are developed and shown.

УДК 66.021.3/4

ИССЛЕДОВАНИЯ СЕПАРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СТРУЙНО-ПЛЕНОЧНОГО КОНТАКТНОГО УСТРОЙСТВА

Мадышев И.Н., Хафизова А.И., Дмитриева О.С.
ilnyr_91@mail.ru
(Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Нижнекамск)

Разработана конструкция струйно-пленочного контактного устройства, обладающая высокой сепарационной способностью, большой площадью поверхности контакта жидкой и газовой фаз с самораспределением жидкости по сечению тепломассообменного аппарата. В ходе работы были проведены численные исследования и определена эффективность осаждения образующихся капель в струйно-пленочном контактном устройстве на стекающей по поверхности перегородок пленке жидкости. Получены графики зависимости эффективности сепарации капель жидкости при изменении различных конструктивных и режимных параметров работы. Так же представлено изменение гидравлического сопротивления контактного устройства в зависимости от среднерасходной скорости газа.

Введение

Основными элементами для охлаждения оборотной воды в градирнях являются оросители, именно они отвечают за охлаждающую способность аппарата. В связи с этим актуальной задачей на сегодняшний день является разработка новых конструкций оросителей, либо модернизация уже существующих аппаратов. Для этого необходимо учесть какого размера должен быть блок оросителя, какими характеристиками он обладает: теплопередача, гидравлическое сопротивление и т.д. Различают пленочные, капельные, капельно-пленочные и комбинированные оросители. Наиболее эффективными при охлаждении оборотной воды являются пленочные оросители, в таких оросителях гидравлическая нагрузка допускается в 1,5 раза выше, чем в капельных. Эффективность охлаждения воды в пленочных оросителях зависит от площади поверхности контакта газа с жидкостью, в связи с этим конструкция оросителя должна обеспечивать равномерность и полное распределение жидкости по всему объему насадки. Большинство конструкций оросителей выполняется таким образом, что требуют большого количества точек ввода жидкости для равномерного распределения жидкости по поверхности, что увеличивает эксплуатационные затраты на ремонт и техническое обслуживание форсунок в случае их засорения или поломки. Так же следует уделить внимание тому на сколько проста конструкция при изготовлении и сборке, доступность ремонту, а также способам очистки биологических отложений [1-3].

Описание работы контактного устройства

Большинству выше изложенных требований удовлетворяет разработанная авторами статьи конструкция струйно-пленочного контактного устройства (рис. 1). Предлагаемый блок оросителя работает следующим образом. Вода, поступающая на охлаждение через отверстия 4, выполненные в днище сливных стаканов 1, диспергируется в виде струй на расположенные ниже вертикальные перфорированные перегородки 2. При этом внутри сливных стаканов поддерживается постоянный уровень жидкости. Благодаря шахматному расположению сливных стаканов 1 воздух, поступающий снизу, движется по Z-образной траектории. Кроме того, на поверхности вертикальных перегородок 2 с отверстиями круглой формы происходит образование пленочного течения, при этом основной поток жидкости стекает по образованному благодаря отгибам 3 каналу. При стекании пленки жидкости происходит улавливание дисперсных частиц из восходящего газового потока. Далее пленка, соударяясь о слой жидкости, находящейся внутри сливных стаканов 1, создает развитую

постоянно обновляющуюся поверхность контакта фаз, которая определяется наличием относительно небольших газовых пузырей в слое жидкости и вылетающими из него каплями.

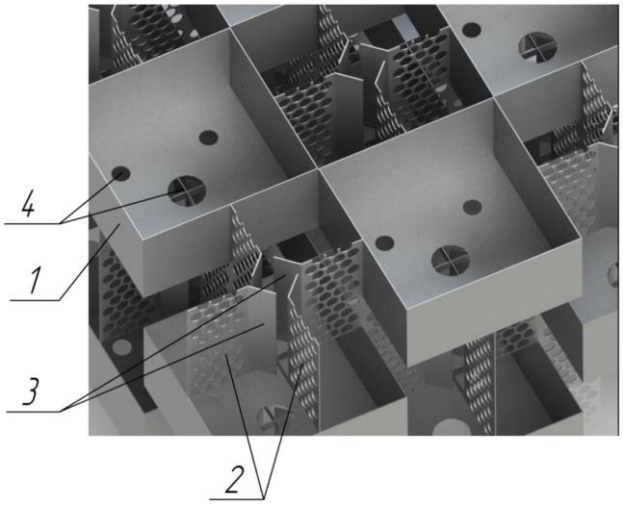


Рис. 1. Контактное устройство с пленочным взаимодействием газа и жидкости:
1 – сливной стакан; 2 – вертикальные перфорированные перегородки;
3 – отгибы на вертикальных перфорированных перегородках; 4 – сливные отверстия

Геометрические размеры контактного устройства с пленочным взаимодействием газа и жидкости выбираются исходя из равенства площадей для прохода газа в поперечном и в продольном сечениях тепломассообменного аппарата. Отсутствие локальных расширений и сужений для восходящего потока газа приводит к снижению гидравлического сопротивления контактного устройства, а отсутствие деталей, изготавливаемых с высокой точностью обеспечивает невысокую себестоимость выпуска блоков предлагаемой насадки.

Описание исследования и его результаты

Целью проводимых численных исследований является определение эффективности осаждения образующихся капель в струйно-пленочном контактном устройстве на стекающей по поверхности перегородок пленке жидкости. Кроме того, важной задачей является определение гидравлического сопротивления устройства.

Исследования проводились в программном комплексе ANSYS Fluent, в котором моделировалось взаимодействие потоков жидкости и газа на примере системы воздух–вода при температуре 20°С на контактных элементах с шириной сливного стакана равной 100 мм. Высота стенки сливного стакана составляла 50 мм, общая высота контактного устройства – 285 мм. В ходе численных исследований изменялась длина сгиба стенки сливного стакана, выполненного в его днище в пределах 5–10 мм. Размеры улавливаемых частиц (капель сферической формы) изменялись в пределах 1–30 мкм, а среднерасходная скорость воздуха от 3 до 7 м/с. Расчетная схема предлагаемого контактного устройства представлена на рис. 2.

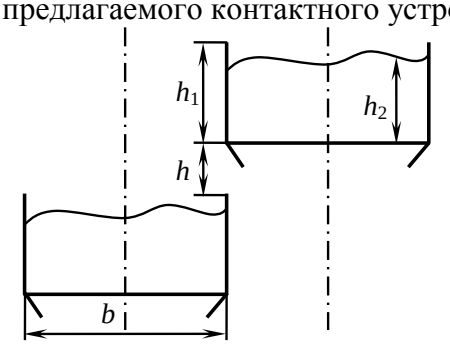


Рис. 2. Расчетная схема струйно-пленочного контактного устройства

В качестве основной модели выбрана двухпараметрическая k-ω модель турбулентности, показывающая удовлетворительное согласование с экспериментальными данными, полученными в других исследованиях авторов [4]. На всех поверхностях контактных элементов принималось условие прилипания.

Эффективность сепарации одной ступени оценивалось с помощью величины эффективности осаждения дисперсных частиц (капель):

$$E = 1 - \frac{N}{N_0}, \qquad (1)$$

где N_0 – общее количество дисперсных частиц; N – количество частиц, не осевших на поверхности контактного устройства.

Результаты исследований показали, что эффективность сепарации капель жидкости в струйно-пленочных контактных устройствах существенно зависит от среднерасходной скорости воздуха, размера улавливаемых капель воды, а также от конструктивного исполнения стенки сливных стаканов.

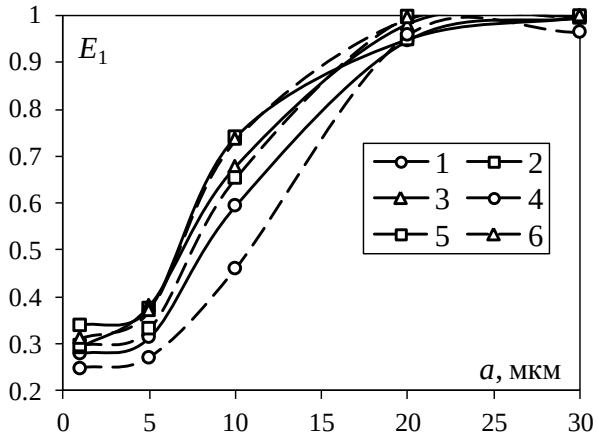


Рис. 3. Зависимость эффективности сепарации на одной ступени от диаметра капель при различных среднерасходных скоростях воздуха $W_{ср}$, м/с: 1, 4 – 3; 2, 5 – 5; 3, 6 – 7; сплошная линия – длина сгиба стенки сливного стакана 10 мм, штриховая линия – 5 мм.

Из графика, представленного на рис. 3, видно, что эффективность сепарации контактных элементов с отгибами, выполненными длиной 10 мм, как правило, выше в среднем на 12%. Это объясняется смещением основного потока образующихся капель в зону невысоких скоростей газожидкостного потока, т.е. к центральной части сливных стаканов, где обеспечивается надежная сепарация. При этом эффективность улавливания дисперсных частиц размерами 20 мкм составляет 95,9–99,8% в зависимости от среднерасходной скорости воздуха.

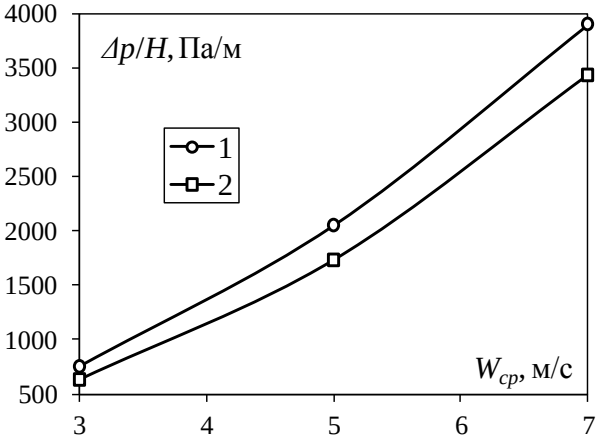


Рис. 4. Изменение гидравлического сопротивления контактного устройства в зависимости от среднерасходной скорости воздуха при различной длине сгиба стенки сливного стакана, мм: 1 – 10; 2 – 5.

Однако, с увеличением эффективности сепарации растет так же гидравлическое сопротивление контактного устройства (рис. 4). Так, например, увеличение длины сгибов стенок сливного стакана до 10 мм приводит к росту гидравлического сопротивления на 13,7–19,2% в зависимости от среднерасходной скорости воздуха.

Заключение

Эффективность сепарации капель жидкости в струйно-пленочных контактных устройствах существенно зависит от среднерасходной скорости воздуха, при этом эффективность улавливания дисперсных частиц размерами 20 мкм наблюдается на высоком уровне. Так же при проектировании контактного устройства следует учитывать и то, что с повышением эффективности сепарации, растет гидравлическое сопротивление.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Академии наук Республики Татарстан № 07-26-ч Г 2019.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Лаптев А.Г., Ведьгаева И.А.* Устройство и расчет промышленных градирен: Монография. Казань. 2004. 180 с.

2. *Umacanta B., Nataraj C.N.* Study on induced draft cooling tower performance analysis in captive power plant // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2017. vol. 4. no.8. pp. 414-421.

3. *Бондарь К.Е., Иванов С.П., Сулейманов Д.Ф., Варисова Р.Р.* Повышение эффективности тепломассообменных процессов в малогабаритных аппаратах охлаждения оборотной воды // Фундаментальные исследования. 2017. № 9-1. С. 25-29.

4. *Madyshev I.N., Dmitrieva O.S., Dmitriev A.V., Kruglov L.V.* Impact of the liquid level in the jet-film contact devices on the heat-and-mass transfer process // MATEC Web of Conferences. 2017. vol. 129. p. 06010.

RESEARCH THE SEPARATION EFFICIENCY AND THE HYDRAULIC RESISTANCE OF THE JET-FILM CONTACT DEVICE

Madyshev I., Khafizova A., Dmitrieva O.

ilnyr_91@mail.ru

(Nizhnekamsk Institute of chemical technology (branch) of the Federal state budgetary educational institution of higher education "Kazan National Research Technological University", Nizhnekamsk)

The design of the jet-film contact device, which has a high separation capacity, a large surface area of contact of the liquid and gas phases with self-distribution of the liquid over the cross section of the heat and mass transfer apparatus. In the course of the work, numerical studies were carried out and the efficiency of deposition of the droplets formed in the jet-film contact device on the liquid film flowing down the surface of the partitions was determined. The graphs of the dependence of the efficiency of liquid droplet separation when changing various design and operating parameters are obtained. The change of hydraulic resistance of the contact device depending on the average gas velocity is also presented.

УДК 536.25

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООТДАЧИ ЧЕТЫРЕХРЯДНЫХ ПУЧКОВ ОРЕБРЕННЫХ ТРУБ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ С ВЫТЯЖНОЙ ШАХТОЙ

Маршалова Г. С.
galiana.sidorik@gmail.com
(Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова, г. Минск)

В целях интенсификации теплоотдачи аппаратов воздушного охлаждения предложена установка вытяжной шахты над оребренным трубным пучком и перевод аппарат в смешанно-конвективный режим эксплуатации. В статье исследовано влияние геометрических параметров вытяжной шахты на теплоотдачу четырехрядного пучка шахматно расположенных оребренных труб в режиме смешанной конвекции, а также проведено сравнение со свободно-конвективным режимом. Установлено, что применение вытяжной шахты позволяет увеличить теплоотдачу пучка в 1,15–2,7 раза по сравнению со свободно-конвективным режимом. В процессе обработки экспериментальных данных выявлено, что на число Ричардсона не влияет изменение мощности, подаваемой на пучок, и оно зависит только от геометрических параметров пучка и вытяжной шахты, что позволило установить следующие оптимальные диапазоны геометрических характеристик вытяжной шахты: для относительной высоты – $1000 < H / d_э < 1500$; для коэффициента сужения площади сечения выходной шахты по отношению к сжатому сечению пучка $0,5 < \chi_ш < 1$.

Одним из способов совершенствования работы аппаратов воздушного охлаждения (АВО) является интенсификация теплоотдачи с помощью размещения над трубным пучком аппарата вытяжной шахты. При этом АВО будет использоваться в режиме смешанной конвекции, когда вынужденный и свободный конвективный теплообмен играют равнозначную роль и никаким из этих процессов невозможно пренебречь [1, 2].

При эксплуатации АВО с вытяжной шахтой необходимо точно придерживаться и регулировать температурные режимы [3], что зависит от наличия точных данных по теплоотдаче оребренных пучков в режиме смешанной конвекции воздуха. Однако в настоящее время отсутствуют методики теплового расчета АВО в этом режиме, а существующие исследования смешанной конвекции воздуха [4–9] не охватывают распространенные компоновочные параметры пучков, не учитывают влияние геометрических параметров вытяжной шахты, не предлагают рекомендаций на их проектирование.

Цель работы − экспериментальное исследование теплоотдачи четырехрядных пучков оребренных труб аппаратов воздушного охлаждения с вытяжной шахтой и разработка рекомендаций на выбор геометрических характеристик вытяжной шахты.

Изучалась теплоотдача четырехрядного пучка оребренных труб равносторонней шахматной компоновки с поперечным шагом $S_1 = 0,058$ м, продольным шагом $S_1 = 0,0505$ мм, которым соответствуют относительные шаги: поперечный – $\sigma_1 = 1,036$, продольный – $\sigma_2 = S_2 / d = 0,9$. Исследования проводились для оребренных биметаллических труб со следующими параметрами: диаметр $d = 0,0568$ м; диаметр трубы по основанию $d_0 = 0,0264$ м; высота, шаг, средняя толщина ребра соответственно $h = 0,0152$ м; $s = 0,00243$ м; $\Delta = 0,00055$ м; теплоотдающая длина оребрения трубы $l = 0,3$ м; общая длина оребренной трубы $l = 0,33$ м. Коэффициент оребрения трубы – $\varphi = 21$.

Для организации режима смешанной конвекции воздуха над экспериментальным пучком устанавливалась вытяжная шахта с различными сечениями. Первым видом была вытяжная шахта с прямоугольным основанием, высотой 0,52 м. Для исследования влияния размера отверстия на выходе из шахты устанавливались крышки с круглым отверстием различного диаметра $d_{отв} = 0,09; 0,105; 0,137; 0,160; 0,187; 0,205$ м.

Вторым видом являлась шахта с прямоугольным основанием, переходящим через конфузор в цилиндрическую трубу, диаметром 0,105 м, высотой $H = 0,52; 1,16; 1,48; 2,10$ м.

Теплоотдача изучалась методом полного моделирования. Применялся обогрев оребренных труб вставными теплоэлектронагревателями. Средняя труба в каждом ряду пучка являлась калориметром. Схема экспериментальной установки, аппаратурное

оформление установки измерительными приборами, методика исследования и порядок проведения опытов изложены в [10]. Во время проведения опытов температура поверхности трубы-калориметра у основания ребер изменялась в интервале $t_{ст}$ = 20–130ºС, температура окружающего воздуха в камере t_0 = 17–24 ºС, подводимая к калориметру электрическая мощность W = 10–80 Вт.

По измеренным данным определяли средний приведенный конвективный коэффициент теплоотдачи, отнесенный к полной наружной поверхности, Вт/(м^{2}К)

$$\alpha_к = \frac{Q_к}{(t_{ст} - t_0)\cdot F}, \quad (1)$$

где $Q_к$ – конвективный тепловой поток, Вт; $F = l\cdot\pi\cdot d_0\cdot\varphi$ – площадь теплоотдающей оребренной поверхности трубы, м^2.

Конвективный тепловой поток $Q_к$, Вт, рассчитывался из уравнения

$$Q_к = W - Q_л - Q_п, \quad (2)$$

где W – подводимая к калориметру электрическая мощность, Вт; $Q_л$ – отведенный излучением от трубы к воздуху тепловой поток, Вт [3]; $Q_п$ – торцевые тепловые потери, Вт [11].

Результаты эксперимента описывались с помощью чисел Нуссельта, Грасгофа и Рейнольдса

$$\mathrm{Nu} = \frac{\alpha_к\cdot d_0}{\lambda}, \quad (3)$$

$$\mathrm{Gr} = \frac{g\cdot\beta\cdot {d_0}^3\cdot(t_{ст} - t_0)}{\nu^2}, \quad (4)$$

$$\mathrm{Re} = \frac{w\cdot d_0}{\nu}, \quad (5)$$

где λ, ν – коэффициенты теплопроводности, Вт/(м К), и кинематической вязкости м^2/с; g – ускорение свободного падения, м/с^2; β – коэффициент температурного расширения, К$^{-1}$; w – скорость воздуха в сжатом сечении пучка, м/с.

Определяющей температурой для определения чисел Нуссельта, Грасгофа и Рейнольдса, а также теплофизических свойств воздуха является температура окружающего воздуха t_0, ºС.

Скорость воздуха в пучке определялась косвенным образом из уравнения теплового баланса

$$Q = n\cdot(W - Q_п) = c\cdot\rho\cdot V(t_ш - t_0), \quad (6)$$

где $Q = Q_к + Q_л$ – теплота, подведенная к потоку воздуха, проходящего через пучок, Вт; n = 6 – число труб в пучке, шт; c – средняя изобарная теплоемкость воздуха, Дж / (кг К); ρ – плотность воздуха, кг/м^3; V – объемный расход воздуха через пучок, м^3/ с; $t_ш$ – средняя температура воздуха в шахте, ˚С.

Средняя изобарная теплоемкость c и плотность ρ определялась по средней температуре воздуха в пучке 0,5($t_ш$ + t_0).

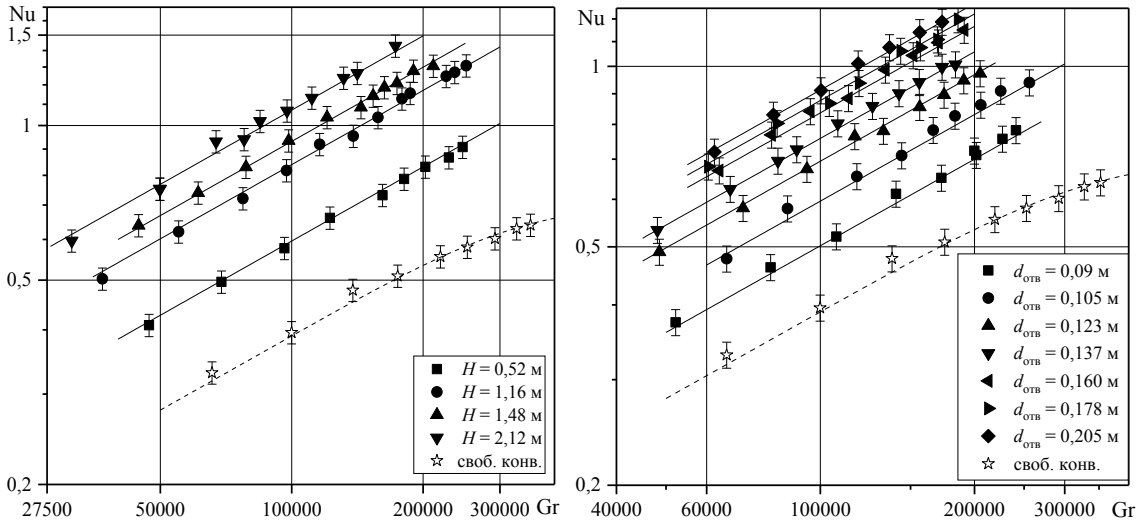
Тогда скорость воздуха в пучке

$$w = \frac{n\cdot(W - Q_п)}{f_{сж}\cdot c\cdot\rho\cdot(t_ш - t_0)}, \quad (7)$$

где $f_{сж}$ – площадь сжатого сечения пучка, м^2, которая рассчитывалась по формуле

$$f_{сж} = l\cdot n\cdot S_1\cdot\left[1 - \left(\frac{1}{S_1}\right)\cdot d\right]. \quad (8)$$

Результаты экспериментального исследования теплоотдачи четырехрядного оребренного пучка в режимах свободной и смешанной конвекции представлены на рис. 1, согласно которым для свободной конвекции наблюдается снижение интенсивности увеличения теплоотдачи с увеличением мощности, подаваемой на пучок, в диапазоне чисел Грасгофа 200 000 < Gr < 400 000, а при Gr ≥ 400 000 дальнейшее увеличение мощности не приводит к увеличению теплоотдачи пучка.



а) *б)*

Рис. 1. Теплоотдача четырехрядного оребренного пучка в режиме смешанной конвекции
а) при изменении площади выходного сечения шахты, *б)* при изменении высоты вытяжной шахты

С увеличением высоты шахты до $H = 0{,}52$ м теплоотдача четырехрядного пучка по сравнению со свободной конвекцией возрастает в 1,44 раза, до $H = 1{,}16$ м – в 2,1 раза, до $H = 1{,}48$ м – в 2,36 раза, до $H = 2{,}12$ м – в 2,76 раза. С увеличением диаметра выходного отверстия вытяжной шахты до $d_{\text{отв.}} = 0{,}09$ м, теплоотдача четырехрядного пучка по сравнению со свободной конвекцией возрастает в 1,31 раза; до $d_{\text{отв.}} = 0{,}105$ м – в 1,5 раза; до $d_{\text{отв.}} = 0{,}123$ м – в 1,76 раз; до $d_{\text{отв.}} = 0{,}137$ м – в 2,15 раза; до $d_{\text{отв.}} = 0{,}160$ м – в 2,4 раза; до $d_{\text{отв.}} = 0{,}178$ м – в 2,5 раза; до $d_{\text{отв.}} = 0{,}205$ м – в 2,58 раза.

Обобщение экспериментальных данных, представленных на рисунке 1, по теплоотдаче в режиме смешанной конвекции с отклонением, не превышающим 5%, проводилось по следующей формуле

$$\mathrm{Nu} = \left[0{,}006093 \cdot \left(1{,}1 - \exp\left(-4{,}68 \cdot \chi_{\text{ш}}\right)\right) \cdot \left(1{,}3 - \exp\left(-0{,}0021 \cdot H / d_{\text{э}}\right)\right)\right] \mathrm{Gr}^{0{,}48}, \qquad (1)$$

где

$$d_{\text{э}} = \frac{2s}{2h+s} S_1 \cdot \chi, \qquad (2)$$

$$\chi = 1 - \frac{1}{S_1}\left(d_0 + 2\frac{h \cdot \Delta}{s}\right), \qquad (3)$$

$$f_{\text{сж}} = l \cdot n \cdot S_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{1}{S_1}\right) \cdot d\right]. \qquad (4)$$

где χ – коэффициент загромождения оребренными трубами поперечного сечения пучка для прохода воздуха [12];

$\chi_{\text{ш}} = f_{\text{отв}} / f_{\text{сж}}$ – коэффициент сужения площади сечения выходной шахты по отношению к сжатому сечению пучка;

$f_{\text{отв}} = \pi \cdot d_{\text{отв}}^{\,2} / 4$ – площадь выходного отверстия вытяжной шахты, м^2;

$f_{\text{сж}}$ – сжатое сечение пучка, м^2;

Уравнение (1) действительно в интервале изменения Gr = 28 000–320 000, $H/d_{\text{э}}$ = 142–580, $\chi_{\text{ш}}$ = 0,14–0,75.

На рисунке 1 данные по теплоотдаче в режиме свободной конвекции (в виде пунктирной линии) с отклонением, не превышающим 5%, обобщались следующим уравнением

$$\mathrm{Nu} = 1{,}75 \cdot 10^{-3} \cdot \mathrm{Gr}^{0{,}48} \cdot \left(1 - \exp\left(-6{,}1 \cdot 10^{5} / \mathrm{Gr}\right)\right). \quad (5)$$

Результаты экспериментального исследования теплоотдачи четырехрядного оребренного пучка в режиме смешанной конвекции представлены на рисунке 2 в виде зависимостей Nu =*f*(Re).

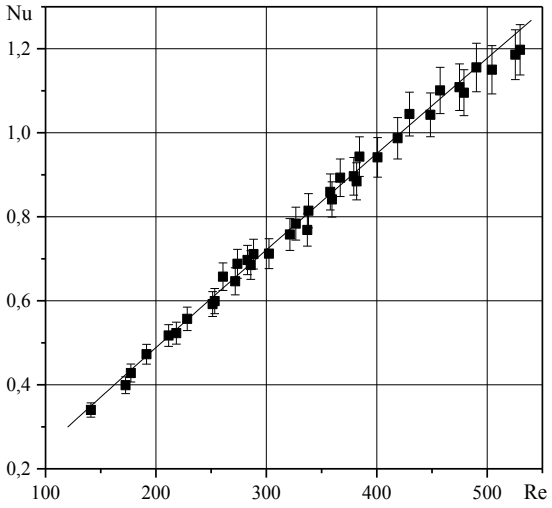


Рис. 2. Теплоотдача четырехрядного пучка в режиме смешанной конвекции

В результате обобщения экспериментальных данных по теплоотдаче четырехрядного горизонтального пучка, представленных на рисунке 2, в режиме смешанной конвекции, с отклонением менее 5%, получено уравнение

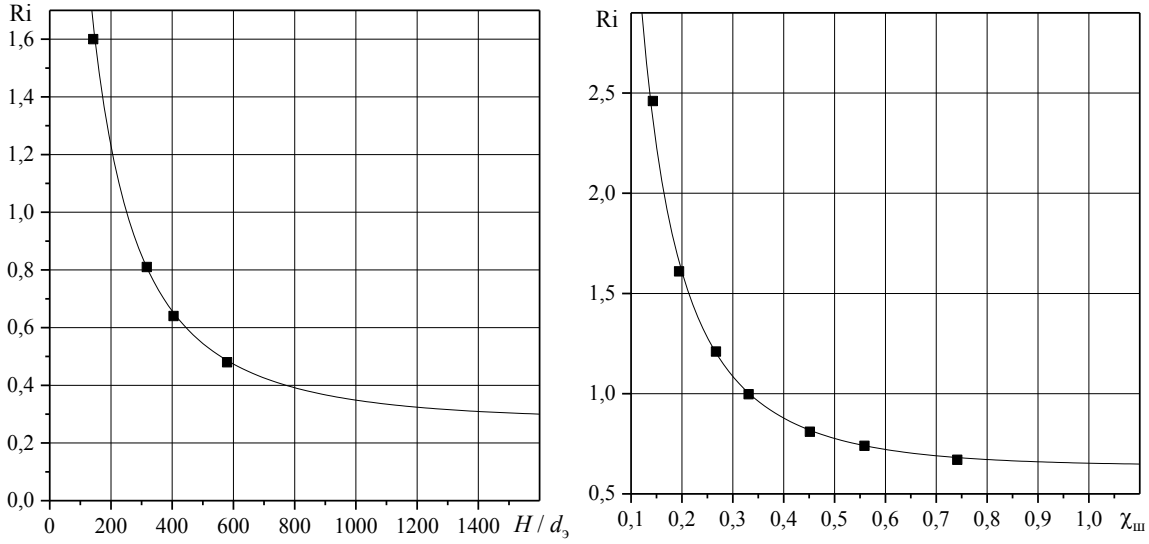
$$\mathrm{Nu} = 0{,}00302 \cdot \mathrm{Re}^{0{,}96}. \quad (6)$$

Уравнение (2) действительно в интервале изменения Re = 130–550. Определяющей температурой для расчета чисел Рейнольдса и Нуссельта является температура окружающей среды t_0.

В процессе обработки экспериментальных данных выявлено, что на число Ричардсона Ri = Gr / Re^2 не влияет изменение мощности, подаваемой на пучок, и Ri зависит только от геометрических параметров пучка и вытяжной шахты. Поэтому для оценки влияния на смешанно-конвективный теплообмен в четырехрядном пучке геометрических параметров вытяжной шахты были построены зависимости Ri = $f(H / d_э)$ и Ri = $f(\chi_ш)$, отображенные на рис. 3, где $d_э = 3{,}659 \cdot 10^{-3}$ м и $f_{сж} = 0{,}044495$ м^2.

Согласно графическим данным на рисунке 3 при увеличении высоты и диаметра вытяжной шахты влияние вынужденной конвекции на свободную увеличивается. При этом в диапазоне $H / d_э \le 1000$ и $\chi_ш \le 0{,}5$ число Ричардсона интенсивно снижается, при $1000 < H / d_э < 1500$ и $0{,}5 < \chi_ш < 1$ интенсивность снижения теплоотдачи падает, а при $H / d_э \ge 1500$ и $\chi_ш \ge 1$ дальнейшее увеличение высоты и диаметра вытяжной шахты не оказывает существенного влияния на смешанно-конвективный теплообмен.

Таким образом, для исследуемого четырехрядного оребренного пучка оптимальные диапазоны геометрических характеристик вытяжной шахты составляют $1000 < H / d_э < 1500$ и $0{,}5 < \chi_ш < 1$.



а) *б)*

Рис. 3. Влияние *а)* относительной высоты вытяжной шахты при $\chi_ш$ = 0,195 и *б)* коэффициента сужения при $H / d_э$ = 142,1 на смешанно-конвективный теплообмен

Выводы. На основе экспериментальных исследований получены критериальные уравнения расчета теплоотдачи четырехрядного оребренного шахматного пучка, а также оптимальные диапазоны геометрических параметров вытяжной шахты, на основании которых можно разработать методику теплового расчета и проектирования АВО с вытяжной шахтой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект Т19РМ-076

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гебхарт, Б.* Свободноконвективные течения, тепло- и массообмен / Б. Гебхарт [и др.]; пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 528 с.

2. *Cheng, T.S.* Characteristics of mixed convection heat transfer in a lid-driven square cavity with various Richardson and Prandtl numbers / T.S. Cheng // International Journal of Thermal Sciences. – Vol. 50. – P. 197–205.

3. *Самородов, А.В.* Совершенствование методики теплового расчета и проектирования аппаратов воздушного охлаждения с шахматными оребренными пучками: дис. … канд. техн. наук: 05.14.14 / А.В. Самородов. - Архангельск, 1999. – 176 с.

4. *Мартыненко, О.Г.* Теплообмен смешанной конвекцией / О.Г. Мартыненко, Ю.А. Соковишин. – Мн.: «Наука и техника», 1975. – 256 с.

5. *Мильман, О.О.* Экспериментальное исследование теплообмена при естественной циркуляции воздуха в модели воздушного конденсатора с вытяжной шахтой / О.О. Мильман // Теплоэнергетика, 2005. – № 5. – С. 16 – 19.

6. *Васильев, Ю.Н.* Системы охлаждения компрессорных и нефтеперекачивающих станций / Ю.Н. Васильев, Г.А. Марголин. – М.: «Недра», 1977. – 222 с.

7. *Габдрахманов, А.А.* Повышение эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на магистральных газопроводах: автореф. дис. … канд. техн. наук: 25.09.19 / А.А. Габдрахманов; Уфим. гос. нефт. техн. ун. – Уфа, 2007. – 24 с.

8. *Kumar, A.* 3D CFD simulations of air cooled condenser-II: Natural draft around a single finned tube kept in a small chimney / A. Rumar [at el.] // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2016. - №92. – P. 507-522.

9. *Li, X.* A review of the crosswind effect on the natural draft cooling towers / X. Li [et al.] // Applied Thermal Engineering. – 2018. – 57 p.

10. *Сидорик, Г. С.* Экспериментальный стенд для исследования тепловых и

аэродинамических процессов смешанно-конвективного теплообмена круглоребристых труб и пучков // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесн. хоз-во, природопольз. и перераб. возоб. рес. – 2018. – № 1. – С. 85–93.

11. Интенсификация свободной конвекции в однорядном оребренном пучке в аппаратах воздушного охлаждения / А. Б. Сухоцкий, Г. С. Сидорик // Труды БГТУ. Серия 2. Хим. технол., биотехн., геоэколог. – 2017. – № 1. – С. 68–74.

12. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: справочник / А. Н. Бессонный [и др.]; под ред. А. Н. Бессонного, В. Б. Кунтыша. – СПб.: Недра, 1996. – 512 с.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF FOUR-ROW BUNDLES OF FINNED PIPES FOR AN AIR-COOLING UNIT WITH THE AIR FUNNEL

MArschalova G.
galiana.sidorik@gmail.com
(A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of NAS of Belarus, Minsk)

In order to intensify the heat transfer of air-cooling apparatuses, it is proposed to install an exhaust shaft above a finned tube bundle and change the flow regime of the flow in the apparatus to a mixed-convective mode of operation. The article investigates the influence of the geometric parameters of the exhaust shaft on the heat transfer of a four-row bundle of staggered finned tubes for the mixed convection mode, and also compares it with the free-convection mode. It has been established that the use of an exhaust shaft makes it possible to increase the heat transfer of the pipe-bundle by 1.15–2.7 times in comparison with the free convection mode. In the process of processing the experimental data, it was found that the Richardson number is not affected by a change in the power supplied to the bundle, and it depends only on the geometric parameters of the bundle and the exhaust shaft, which made it possible to establish the following optimal ranges of geometric characteristics of the exhaust shaft: for a relative height of $1000 < H / d_e < 1500$; for the coefficient of narrowing of the cross-sectional area of the output shaft with respect to the compressed beam cross section $0{,}5 < \chi_c < 1$.

УДК 536.25

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА РАДИАТОРА ОХЛАЖДЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Маршалова Г.С.[1], Баранова Т.А.[1], Чорный А.Д.[1]
julia_zhukova@rambler.ru
Научные руководители: Ю.В. Жукова[1], И.А. Попов [2]
([1]Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси, г. Минск,
[2] Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань, Казань)

На основе методов численного моделирования конвективного теплообмена, разработана и апробирована методика расчетов, применимая к широкому классу теплообменных аппаратов. Отличительной особенностью методики является представление оребренной части теплопередающей поверхности в виде пористых вставок. Разработанная методика позволяет уменьшить требования к оборудованию для численного моделирования и снизить время расчетов. Результаты расчетов сопоставлены с имеющимися данными инженерных расчетов и технических характеристик радиатора охлаждения, расхождение не превышает 1%.

В последнее время при проектировании систем охлаждения грузовой автотранспортной техники все чаще используются современные методы вычислительной гидрогазодинамики (Computational Fluid Dynamics CFD). Использование методов численного моделирования позволяет не только проектировать системы охлаждения, но и оптимизировать их отдельные узлы.

Объектом исследования и апробации методов численного моделирования для расчетов конвективного теплообмена является радиатор охлаждения, выпускаемый серийно для автомобильной техники (рисунок 1). В рассматриваемом устройстве реализуется перекрёстный ток при течении теплоносителей – поперечное обтекание воздухом оребренных труб, внутри которых течет техническое масло.

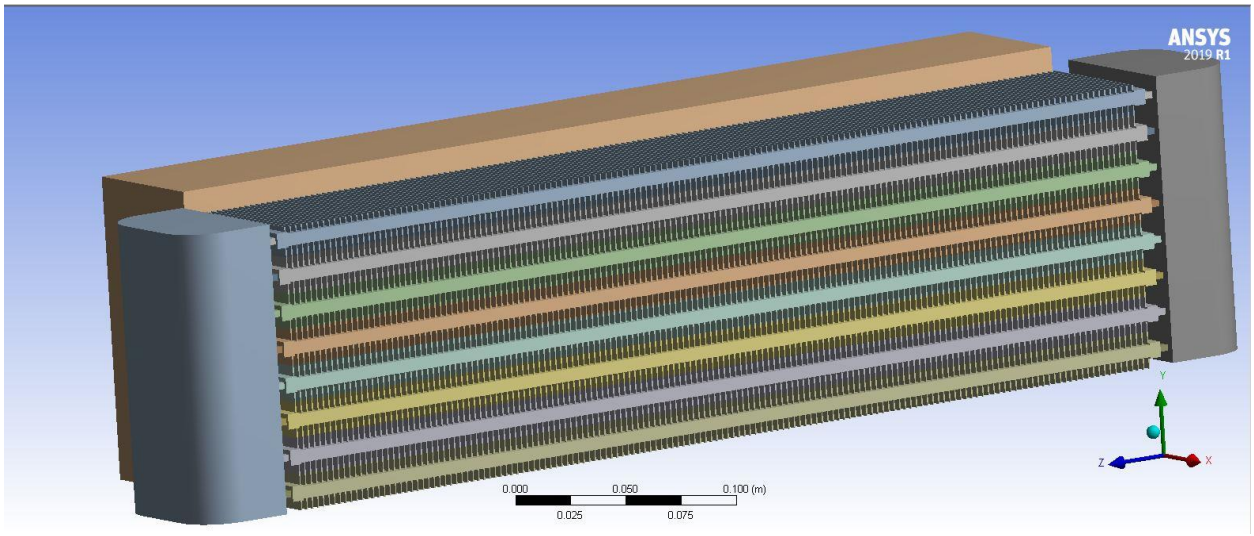


Рис. 1. Фрагмент рассматриваемой конструкции

Первоначально с использованием уравнения теплопередачи был оценен коэффициент теплопередачи, исходя из заданных параметров теплообменного аппарата. Количество теплоты, переносимое маслом

$$Q = \Delta t_{oil} c_{p,oil} V_{oil} = 5 \cdot 1850 \cdot 36 \cdot 10^{-3} / 60 \cdot 875 = 4856,25\ Bm$$

Количество теплоты, отбираемое воздухом, определяется формулой

$$Q = \Delta t_{air} c_{p,air} V_{air},$$

откуда можно оценить температуру воздуха на выходе как

$$t_{2,air} = \frac{Q}{c_{p,air} V_{air}} + t_{1,air} = \frac{4856,25}{1,75 \cdot 1100} + 55 = 57,5°C.$$

Средний логарифмический температурный напор для перекрестного тока (ввиду того, что теплообменник многоходовой, то перекрестный ток можно считать аналогично противотоку) определяется как

$$\Delta t_{л} = \frac{\Delta t_{б} - \Delta t_{м}}{\ln \frac{\Delta t_{б}}{\Delta t_{м}}} = \frac{12,5 - 10}{\ln \frac{12,5}{10}} = 11,2°C.$$

В результате можно оценить коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{Q}{F \cdot \Delta t_{л}} = \frac{4856,25}{6,95 \cdot 11,2} = 62,38 \frac{Bm}{м^2 K}$$

Для уточнения результатов, полученных на основе инженерной методики было проведено численное моделирование конвективного теплообмена при охлаждении потоком воздуха оребренных труб, внутри которых движется второй теплоноситель (масло). Первоначально создавалась CAD-модель, состоявшая из ряда расчетных объемов (воздух, масло – теплоносители; корпус, оребренные трубы – твердое тело). Расчетные сетки состояли из тетрагексагональных и гибридных элементов. Расчеты проводились с помощью газодинамического решателя ANSYS Fluent 2019 R1 на высокопроизводительном компьютере Института тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси.

Задача решалась в сопряженной постановке. На входной границе объема воздуха, имитирующей действие вентилятора, был задан массовый расход, тангенциальная

составляющая скорости, турбулентные характеристики набегающего потока, а также характерная температура воздуха (328 К). На входной границе объема масла был задан массовый расход, турбулентные характеристики потока масла, а также характерная температура (343 К). На выходных границах задавались мягкие граничные условия. Стенки корпуса предполагались теплоизолированными.

Решались стационарные уравнения Рейнольдса, уравнение неразрывности и уравнение энергии. Для замыкания уравнений Рейнольдса была использована к-ω модель переноса сдвиговых напряжений Ментера в стандартной формулировке [2]. В процессе решения сходимость задачи контролировалась уровнем погрешности. Для давления и скоростей минимальный уровень погрешности составлял 10^{-3}, для температуры – 10^{-5}. Расчеты прекращались по достижению погрешности для поправок давления 10^{-4}, для энтальпии (уравнение энергии) – 10^{-8}.

Теплофизические свойства воздуха задавались для плотности – согласно закону несжимаемого идеального газа, для вязкости – согласно закону Сазерленда; для коэффициент теплопроводности – полиномиальной зависимостью от температуры. Теплофизические свойства масла – в виде кусочно-линейных зависимостей.

Первоначально подготовленная расчетная сетка составляла 65 млн расчетных ячеек. На имеющемся в наличии оборудовании подобные расчёты было нереально произвести. В связи с этим была разработана многостадийная методика расчета радиатора охлаждения, основная идея которой заключалась в замене оребрения труб на эквивалентные пористые вставки. Похожие попытки представлены в [2].

На первом этапе проводится численное моделирование обтекания воздухом одной секции оребренной трубы. Размеры расчетной сетки не превышали 10 млн расчетных ячеек. По результатам расчета был определен коэффициент теплоотдачи от оребрения к воздуху, распределение скорости на входе в каналы, формируемые оребрением и перепад давления Δp между входом и выходом каналов, формируемых оребрением. По полученным результатам определяем коэффициент проницаемости. Также был рассчитан коэффициент пористости, представляющий собой отношение объема воздуха в пористом теле к общему объему. Для контроля адекватности использования модели пористого тела были проведены расчеты обтекания воздухом одной секции по маслу, в которой оребрение труб было заменено пористыми вставками. Сопоставление результатов численного моделирования (рисунок 2) по распределению скорости с имеющимися данными инженерных расчетов и технических характеристик радиатора охлаждения показали, отклонение не превышает 1%.

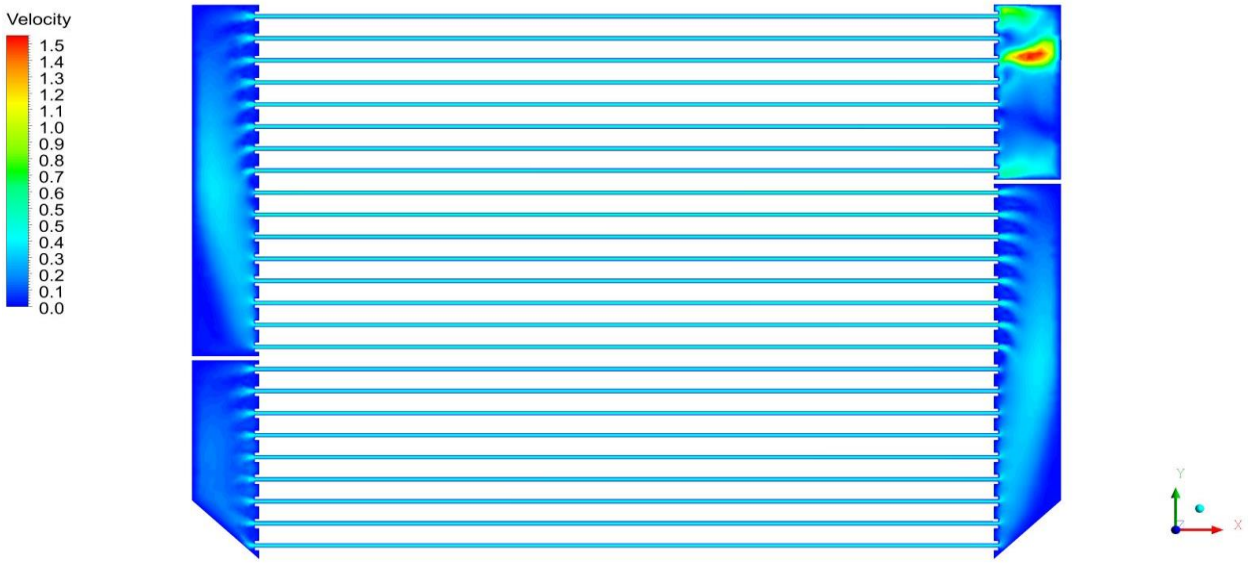


Рис. 2. Распределение скорости по тракту масла

На втором этапе была подготовлена CAD-модель полного радиатора охлаждения с

заменой оребрения пористыми вставками. Расчеты были проведены для равновесной модели пористого тела с использованием коэффициента проницаемости, рассчитанного на первом этапе работы. Равновесная модель пористого тела предполагает равенство температур пористого «каркаса» и воздуха, находящегося в порах. При расчете радиатора охлаждения такая модель может быть использована только в качестве приближенного решения, поскольку в реальности существует теплообмен между ребрами радиатора и омывающей средой – воздухом.

Поэтому на третьем этапе, используя решение, полученное в рамках равновесной модели пористого тела, для расчетов применялась неравновесная модель пористого тела, предполагающая теплообмен между пористым «каркасом» и воздухом в порах. Для расчетов согласно неравновесной модели пористого тела необходимо задать коэффициент теплоотдачи, который был получен на первом этапе расчетов и отношение площади поверхностей, граничащих с оребрением к общему объему зоны, представленной пористой вставкой. Результаты численного моделирования представлены на рисунке 3.

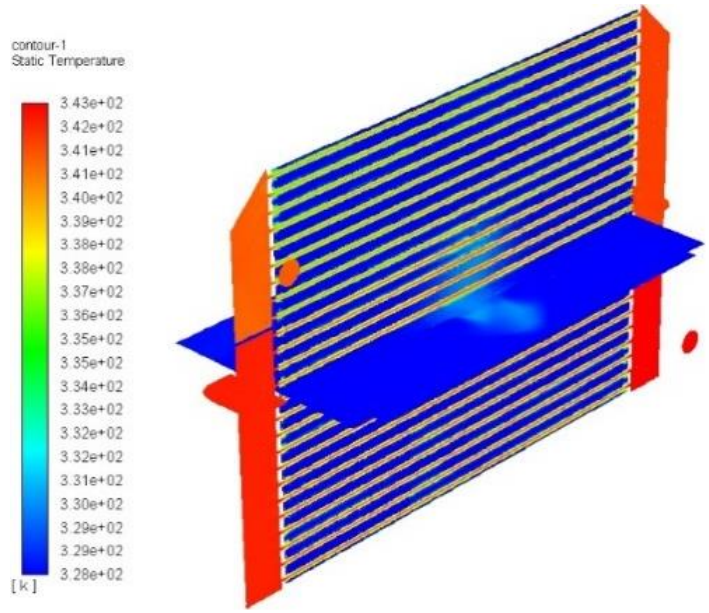


Рис. 3. Распределение температуры в серединном сечении радиатора

Выводы. На основе методов численного моделирования конвективного теплообмена, разработана и апробирована методика расчетов, применимая к широкому классу теплообменных аппаратов. Отличительной особенностью методики является представление оребренной части теплопередающей поверхности в виде пористых вставок. Разработанная методика позволяет уменьшить требования к оборудованию для численного моделирования и снизить время расчетов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 19-58-04006Бел_мол_а, и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проекты Т19РМ-076 и Ф18Р-035.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Menter, F.R.* Zonal two equation k-w turbulence models for aerodynamic flows / F.R. Menter // AIAA Paper. – 1993. – No 2906.– P. 1-21.

2. *Якубович, А.И.* К вопросу расчета поверхности охлаждения многорядных радиаторов тракторов «Беларус» / А.И. Якубович, В.Е. Тарасенко // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2010. – № 2. – С. 49-58.

ON THE APPLICATION OF THE NUMERICAL METHODS TO CALCULATE A VEHICLE RADIATOR COOLING SYSTEMS

Marschalova G.[1], Baranova T.[1], Chorny A.[1]
julia_zhukova@rambler.ru
Научный руководитель: Yu. Jukova[1], I. Popov[2]
([1]A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of NAS of Belarus, Minsk,
[2]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan, Kazan)

Based on the methods of numerical modeling of convective heat transfer, a calculation procedure has been developed and tested that is applicable to a wide class of heat exchangers. A distinctive feature of the technique is the representation of the finned part of the heat transfer surface in the form of porous inserts. The developed technique allows to reduce the requirements for numerical simulation of the equipment and reduce the calculation time. The calculation results are compared with the available engineering calculations and technical characteristics of the cooling radiator, the discrepancy of the obtained results does not exceed 1%

УДК 621.9

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВИХРЕГЕНЕРАТОРОВ

Миронов А.А.[1], Кадыров Р.Г.[1, 2]
skrart555@gmail.com
Научный руководитель: И.А. Попов, д-р. техн. наук, профессор
([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань,
[2]НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа, г.Казань)

В докладе предложена теплообменная поверхность для интенсификации теплоотдачи при турбулентном течении теплоносителя, выполненная в виде периодически нанесенных углублений, отличающаяся тем, что углубления выполнены овально-дуговой формы, состоящей из двух половинок сферической выемки диаметром b, соединенных цилиндрическим торообразным сегментом длиной l таким образом, чтобы бы реализовывалось условие, что что касательная к данному сегменту составляла угол 45° по отношению к направлению потока в начале углубления и угол 0° в конце углубления с геометрическими соотношениями l/b=4,7-5,78; h/b=0,18-0,37; r=0,025b. Представлены результаты первичных экспериментальных гидравлических исследований данных теплообменных поверхностей.

В работе [1] были численно исследованы характеристики теплообменной поверхности с овальными углублениями. Данная поверхность характеризуется тем, что на гладкой поверхности с защитным слоем или без него выполнены овальные углубления состоящей из двух половинок сферической выемки диаметром b, соединенных цилиндрической вставкой длиной l. Результаты исследований показывают, что использование данной поверхности с овальными выемками (относительной глубиной h/b=0,2; относительным удлинением l/b=0,8; радиусом скругления кромок r/b=0,25; угол натекания потока на овальную выемку φ=45°) позволяет повысить уровень коэффициентов теплоотдачи на ней до $Nu/Nu_{гл}$=1,61 раза при ламинарном режиме течения (Re=2500) при увеличении коэффициентов гидросопротивления в $\xi/\xi_{гл}$=1,31 раза по сравнению с гладкой поверхностью, что обеспечивает значения фактора теплогидравлической эффективности (аналогии Рейнольдса) на уровне $(Nu/Nu_{гл})/(\xi/\xi_{гл})$=1,23. Использование теплообменной поверхности с овальными выемками при турбулентном режиме течения (Re=20000) позволяет повысить уровень коэффициентов теплоотдачи на ней до $Nu/Nu_{гл}$=1,52 раза при росте коэффициентов гидросопротивления в $\xi/\xi_{гл}$=1,73 раза по сравнению с гладкой поверхностью, что обеспечивает значения фактора теплогидравлической эффективности (аналогии Рейнольдса) на уровне $(Nu/Nu_{гл})/(\xi/\xi_{гл})$=0,88.

Для повышения эффективности были предложены и исследованы теплообменные поверхности с углублениями, полученными протяжкой сферической выемки по дуге

окружности [2]. Результаты исследований теплообменных поверхностей с данными углублениями показывают повышение тепловой эффективности до $St/St_{гл}=1,2$ по сравнению с гладким каналом, что выше достигнутых значений для сферических углублений ($St/St_{гл}=1,18$) и овальных углублений ($St/St_{гл}=1,175$) при турбулентном режиме течения ($Re=4\cdot10^6$). Однако трение поверхностей с углублениями, полученными протяжкой сферической выемки по дуге окружности, повышается до $C_x/C_{xгл}=1,27$ по сравнению с гладкой поверхностью. Для сравнения, повышение коэффициентов трения поверхностей со сферическими углублениями составляет $C_x/C_{xгл}=1,27$ и овальными углублениями - $C_x/C_{xгл}=1,1$, при турбулентном режиме течения ($Re=4\cdot10^6$). Такое сочетание повышения тепловой эффективности и роста коэффициентов трения позволяет достичь увеличения теплогидравлической эффективности (фактора аналогии Рейнольдса) для поверхностей с углублениями, полученными протяжкой сферической выемки по дуге окружности, $(St/St_{гл})/(C_x/C_{xгл})=0,97$, для поверхностей с овальными углублениями - $(St/St_{гл})/(C_x/C_{xгл})=0,82$, для поверхностей со сферическими углублениями - $(St/St_{гл})/(C_x/C_{xгл})=1,07$.

Можно отметить, что недостатком указанных теплообменных поверхностей является низкая тепловая и теплогидравлическая эффективность и высокие потери энергии потока на трение.

Задачей, на решение которой направлено представленное исследование является повышение теплогидравлической эффективности теплообменных каналов.

Предлагаются углубления выполнять овально-траншейной и овально-дуговой формы, состоящих из двух половинок сферической выемки диаметром b, соединенных цилиндрическим сегментом длиной l таким образом, чтобы бы реализовывалось в первом случае условие, что касательная к данному сегменту составляла угол φ=45° по отношению к направлению потока, а во втором случае - что касательная к данному сегменту составляла угол φ=45° по отношению к направлению потока в начале углубления и угол 0° в конце углубления (рис.1). Выемка должна иметь относительно большое удлинение ($l/b=4,7$-$5,78$ или $l_к/b=5,57$-$6,78$) и относительную глубину $h/b=0,34$-$0,37$.

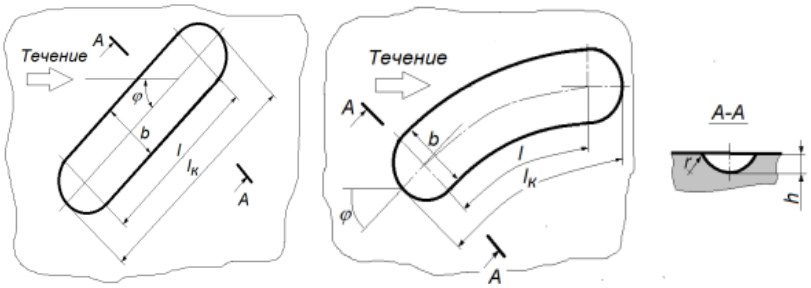


Рис. 1. Схема овально-траншейной (а) и овально-дуговой (б) выемки:
l - длина цилиндрической части углубления, мм; $l_к$ - длина углубления, мм; h - глубина, мм;
b – ширина углубления, мм; r – радиус скругления кромок углубления, мм;
φ - угол натекания потока на углубление, градусы

Овально-траншейная форма выемки является поверхностным генератором спиралевидных высокоинтенсивных моновихрей и позволяет повысить скорость вторичного течения до величин порядка характерной скорости потока в стесненном канале (среднемассовой или максимальной), что в несколько раз превышает скорости вторичного течения, индуцированные традиционными сферическими выемками, и отличается высокой стабильностью и интенсивностью вихревого течения в следе за ним по сравнению с аналогами в виде овальных выемок различного удлинения, предложенными в [1,3], обеспечивая значительное превосходство овально-дуговых углублений по тепловой и теплогидравлической эффективности.

Сравнительный анализ теплообменных поверхностей с аналогами (сферическими и овальными углублениями) и предлагаемой формой интенсификатора теплообмена в форме

овально-дуговой выемки проводился на основе численного моделирования, методология которого описана в [4], и прошла многочисленные апробации и верификации, реализована в программном комплексе "VP2/3 Thermophysics".

Сравнительный анализ теплообмена на теплообменных поверхностях с одиночными интенсификаторами теплообмена (вихрегенераторами) различной формы проведен в канале прямоугольного сечения шириной $B=2,5d_к$ и высотой $H=0,33d_к$. В качестве характерного размера выбран диаметр сферической выемки, нормированный как $d_к=1$. Методически важно было зафиксировать площадь пятна углубления и его относительную глубину $h/d_к=0,13$ ($h/b=0,18$-$0,37$) (фактически углубления оказываются равнообъемными). Относительная глубина углублений составляет $h/d_к=0,13$ Углубления располагаются на некотором расстоянии $l_0=3d_к$ от входа в канал, выбранном из условия их незначительного влияния на входные условия. Радиус скругления кромок принимается равным $r=0,025d_к$. При сохранении площади пятна овально-траншейного углубления, равного площади пятна базовой сферической выемки, ее ширина изменяется в переделах $b=(0,731…0,346)d_к$, а удлинение, отнесенное к ширине, составило $l_к/b=(l+b)/b=(1,68…6,78)$ (рис.1 и табл.1). Угол наклона овально-траншейного углубления принят равным $\varphi=45^o$. Число Рейнольдса выбрано равным $Re_d=104$ ($Re_H=3333$).

В ходе численных исследований показано, что с увеличением удлинения овально-траншейного углубления до $l_к/b=6,78$ в долях ширины теплогидравлические характеристики прямоугольного участка канала с выемкой кардинально улучшаются $E'=1,163$ по сравнению со сферической выемкой $E'=1,002$. Темп возрастания тепловой эффективности значительно опережает рост гидравлических потерь.

Гидравлические потери на участке с овальной выемкой имеют максимум при ширине углубления $b/d_к=0,549$ (длина полуцилиндрической вставки $l/d_к=1$), который в 1,5 раза превышает гидравлические потери в случае сферической выемки. Гидравлические потери на участке с овально-траншейным углублением ($l/d_к=2$), оказались наименьшими и всего лишь в $\xi_{(1)}/\xi_{0(1)}=1,13$ раза выше потерь для участка с базовой сферической выемкой. Таким образом, сравнение предлагаемой конструкции теплообменной поверхности с овальными и овально-траншейными углублениями по теплогидравлической эффективности (критерию аналогии Рейнольдса) с поверхностями со сферическими и овальными выемками показывает их преимущество при соблюдении геометрических соотношений размеров углубления: $l/b=4,7$-$5,78$ или $lк/b=5,57$-$6,78$; $\varphi=45\circ$; $h/b=0,18$-$0,37$; $r=0,025b$.

Для проверки полученных в ходе численных исследований данных были проведены экспериментальные исследования гидродинамики в каналах с различными типами интенсификаторов.

Анализ картин растекания и полей температур (локальных коэффициентов теплоотдачи), представленных на рис.2, показывает, что в области крайней по ходу течения кромки выемки возникают области с пониженными скоростями, а значит с малыми локальными коэффициентами теплоотдачи. Как показано, удлинение выемки, а значит появление данных областей, неизбежно, но необходимы решения по повышению скорости течения и, как следствие, локальных коэффициентов в них.

Для решения данной проблемы предложена геометрия в виде овально-дуговых углублений.

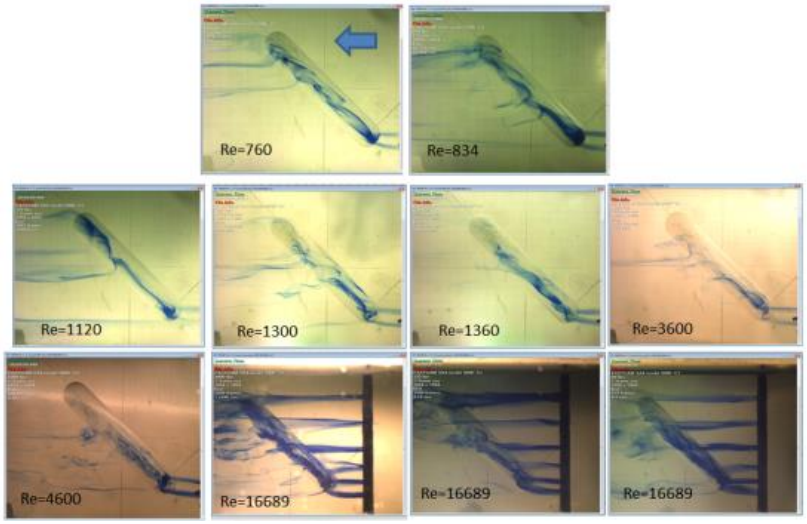


Рис. 2. Картины растекания потока в окрестности овально-траншейной выемки
с параметрами удлинения и глубины h/b=0,5; $l_к/b$ =7 при различных скоростях потока

Первичные результаты исследований картин растекания (рис.3) показали отсутствие застойных зон во второй половине выемок, а значит увеличение локальных скоростей в ней и, как следствие, прогнозируется повышение локальных коэффициентов теплоотдачи.

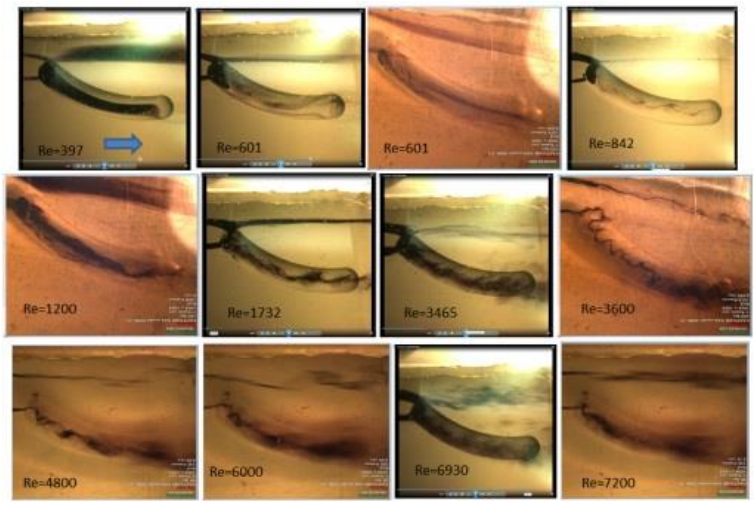
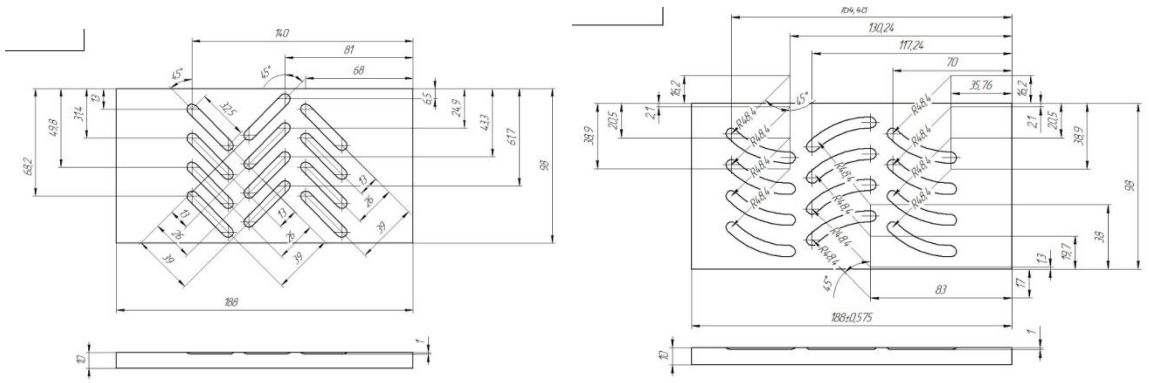


Рис. 3. Картины растекания потока в окрестности овально-дуговой выемки
с параметрами удлинения и глубины h/b=0,5; lк/b=7 при различных скоростях потока

В дальнейшем была проведена верификация результатов численного исследования коэффициентов сопротивления в каналах с овально-траншейными и овально-дуговыми выемками (рис.4). Исследования коэффициентов сопротивления проводилось как при течении воды, так и воздуха в каналах со стенкой, покрытой многорядными системами овально-траншейных и овально-дуговых выемок. Результаты экспериментальных исследований коэффициентов гидросопротивления представлены на рис.5.



а б

Рис. 4. Схемы расположения рельефов выемок на поверхностях:
а – овально-траншейных, б – овально-дуговых

Установлено, что коэффициенты гидравлического сопротивления канала с односторонним расположением овально-дуговых выемок h/b=0,5; l/b=7 на 10-13% ниже, чем у канала с одной стороны расположение системы овально-траншейных выемок тех те относительных размеров при расположении к потоку входных кромок 45°.

Также проведено экспериментальное исследование коэффициентов гидросопротивления щелевых каналов с рядным расположение овально-траншейных и овально-дуговых выемок при течении воздуха.

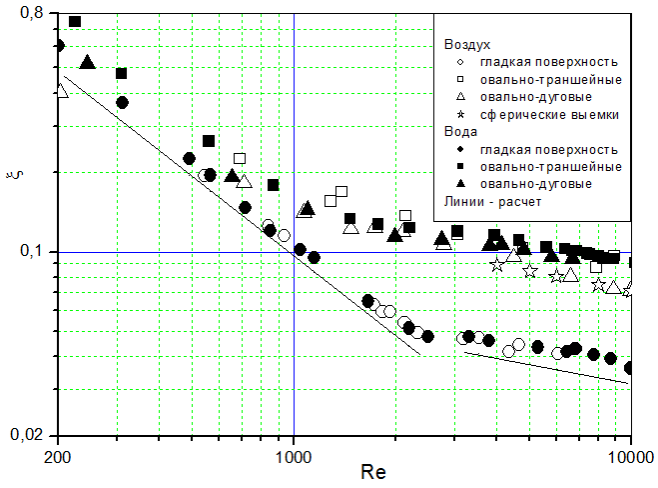


Рис. 5. Коэффициенты гидросопротивления при течении воды и воздуха в каналах со стенкой, покрытой многорядными системами овально-траншейных и овально-дуговых выемок

Результаты исследования в узких каналах также подтвердили выше установленный факт, что коэффициенты гидравлического сопротивления канала с односторонним расположением овально-дуговых выемок (h/b=0,5; l/b=7) на 10-13% ниже (рис.6), чем у канала с одной стороны расположение системы овально-траншейных выемок тех те относительных размеров при расположении к потоку входных кромок 45°.

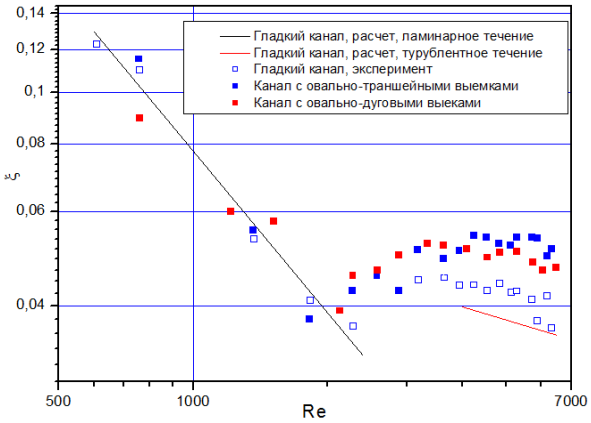


Рис. 6. Коэффициенты гидросопротивления при течении воздуха в каналах со стенкой, покрытой однорядными системами овально-траншейных и овально-дуговых выемок

В итоге, результаты численного и экспериментального исследования подтвердили перспективность использования нового типа интенсификаторов в виде овально-траншейных и овально-дуговых выемок.

Работа выполнена в рамках выполнения проекта РФФИ 18-38-00356.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Isaev S. A., Leont'ev A. I., Kornev N. V., Hassel E., and Chudnovskii Ya. P.* Heat-Exchange Enhancement for Laminar and Turbulent Flows in a Narrow Channel with One-Row Oval Dimples // High Temperature, 2015, Vol. 53, No. 3, pp. 375–387

2. *Киселёв Н.А., Бурцев С.А., Стронгин М.М., Виноградов Ю.А.* Экспериментальное исследование теплообмена и сопротивления лунок сложной формы // Труды Юбилейной конференции Национального комитета РАН по тепло- и массообмену «Фундаментальные и прикладные проблемы тепломассообмена» и XXI Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством акад. РАН А.И. Леонтьева «Проблемы газодинамики и тепломассобмена в энергетических установках» (22—26 мая 2017 г., Санкт-Петербург). Том.2. : М.: Издательский дом МЭИ, 2017. с.124-127

3. *Isaev S.A., Schelchkov A.V., Leontiev A.I., Gortyshov Yu F., Baranov P.A., Popov I.A.* Vortex heat transfer enhancement in the narrow plane-parallel channel with the oval-trench dimple of fixed depth and spot area // International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 109, 2017, Pp.40-62

4. *Исаев С.А., Баранов П.А., Усачов А.Е.* Многоблочные вычислительные технологии в пакете VP2/3 по аэротермодинамике. Саарбрюкен: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 316 с

HYDRAULIC RESISTANCE OF SURFACE VORTEX GENERATORS

Mironov A., Kadyrov R.

skrart555@gmail.com

Supervisor: I. Popov, Doctor of Technical Sciences, Professor

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

The report proposes a heat exchange surface for the intensification of heat transfer in turbulent coolant flow, made in the form of periodically deposited recesses, characterized in that the recesses are oval-arc shape, consisting of two halves of a spherical recess diameter b, connected by a cylindrical toroidal segment length l so that the condition would be realized, that the tangent to this segment stood at an angle of 45 degree in relation to the direction of flow at the beginning of the recess and the angle 0 degree at the end of the deepening of the geometric ratio l/b=4,7-5,78; h/b=0,18-0,37; r=0,025 b. Presents the results of primary experimental data of hydraulic research heat transfer surfaces.

УДК 536.24

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ СТЕНОК В ОБЛАСТИ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ИМИТИРУЮЩЕЙ СМЕШЕНИЕ ПОТОКОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГТД

Нгуен Т.Д., Александров Ю.Б., Сулаиман А.И.
nguyenthedat1609@gmail.com
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В работе рассматриваются вопросы газодинамической оптимизации диффузорного канала, находящегося перед нагревательным элементом. Оптимизация достигается путем снижения температур нагрева стенок канала за счет установки направляющих поток поверхностей.

Для исследования смешения потоков в камерах сгорания ГТД нами была сконструирована экспериментальная установка. Внешний вид установки показан на рис. 1. Установка включала в свой состав: авиационный вентилятор с одной ступенью рабочих лопаток (1), от которого поток холодного воздуха разделялся и проходил к экспериментальному участку (5) и нагревательному элементу (3), состоящий из двух рядов спиралей (суммарной электрической мощностью 24 кВт) для нагрева воздуха подаваемого в завихритель КС и имитирующий тем самым повышение температуры в жаровой трубе при сжигании топлива.

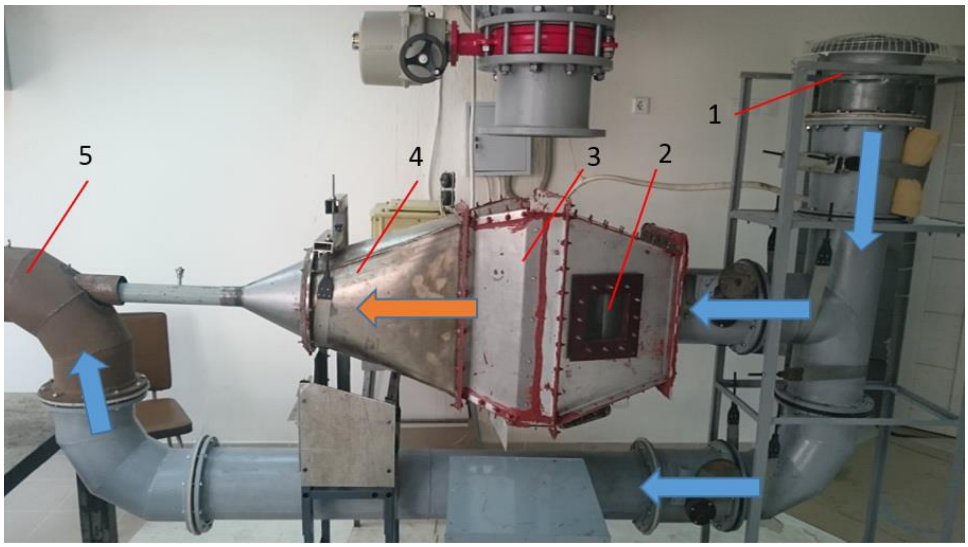


Рис. 1. Внешний вид экспериментальной установки:
1 – вентилятор; 2 – диффузор; 3 – нагреватель; 4 – сужающий канал;
5 – выход на экспериментальный участок

При нагреве потока воздуха необходимо обеспечить качественный теплосъем с нагревательных элементов, для его организации осуществляют снижение скоростей потока, за счет увеличения площади проходного сечения с установкой диффузорно-конфузорного участка. В таких местах, при высоких углах раскрытия диффузора может наблюдаться отрывные возвратные течения. Это вызывает увеличение гидравлического сопротивления и в следствии возвратных течений от спиралей нагревателя - перегрев стенок канала. Перегрев стенок канала уменьшает температуру на выходе из нагревателя из-за тепловых потерь, а так же может нагреть изоляцию электрических проводов и вызвать их замыкание.

Нагреватель имеет внутренние габариты проточной части 400х600 мм. Из литературных данных [1] известно, что для интенсивного теплообмена массовая скорость в канале установки нагревателя должна быть диапазоне 3 - 5 (кг/м^2•с) для трубок с оребрением и

иметь максимум до 7 - 8 кг/м^2•с.

$$F = G / v, \ м^2, \quad (1)$$

где: G - массовый расход воздуха, кг/час; v - массовая скорость воздуха, кг/м^2•с

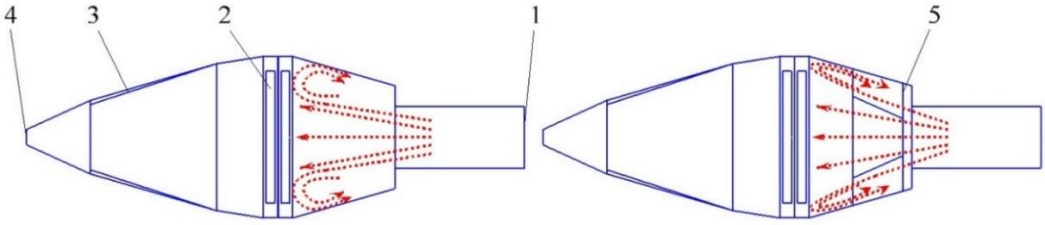
При заданном массовом расходе для минимальной и максимальной массовой скорости, по формуле (1) рассчитаны площади поперечного сечения канала и все они были меньше чем площади нагревательного элемента 0.4х0.6 м = 0.24 м^2. Отсюда можно сделать вывод, что нагревательный элемент обеспечивает качественный нагрев воздуха.

При запуске установки выяснилось, что в диффузорно-конфузорной части установки нагревательных спиралей наблюдается перегрев стенок. Это вызывало перегрев изоляции проводов подводящих ток к нагревательным элементам.

Было сделано предположение, что источником нагрева являются отрывные течения в области боковых стенок, которые захватывают горячий воздух от нагревателей и подводят его к стенкам. Из литературных источников известно, что для устранения отрывных течений в диффузорном канале используют малые углы раствора (менее 6 град.) [2, с. 99], изоградиентное профилирование стенок канала или установка направляющих лопаток, разбивающих канал на несколько диффузорных каналов с малым углом раскрытия. Что бы определить конструктивное решение для оптимизации канала, а так же более подробного изучения структуры потока в диффузорной части установки было выполнено численное моделирование всей установки в трехмерной стационарной постановке методом RANS. Выполнены две геометрические модели, отличающиеся между собой степенью детализации проработки нагревательных элементов. В первой детальной модели нагревательные элементы выполнены в виде вертикальных спиралей, такие как в самой конструкции установки. Во второй упрощенной модели спирали упрощены до вертикальных стержней с эквивалентной площадью. Результаты расчета показали не высокую степень различия между моделями по гидравлическим и температурным показателем. Поэтому было принято продолжать расчеты по вариантам на упрощенной модели, позволяющую производить расчеты за меньше время в следствии меньшего количества сеточных элементов. В последствии эта модель была упрощена до участка нагревательного элемента, а все окружающие участки были убраны из модели и заменены на граничные условия, которые были приняты из полной - детальной трехмерной модели и экспериментальных замеров. На входе в участок задавался профиль скоростей на выходе противодавление, на поверхностях нагревательных элементов тепловой поток. Количество сеточных элементов для такой упрощенной модели составляло 3 млн. В качестве расчетной модели турбулентной вязкости применялась *k-e* со стандартной функцией стенки. Все расчеты проводились с учетом лучистого теплообмена по модели Discrete Ordinates (DO) [3], а для выявления его влияния дополнительно проделаны расчеты без этой модели.

Анализ векторных полей скоростей подтвердил предположение о увеличении температуры стенок в следствии возвратных течений от нагревательных элементов. Структура потока показана на рис. 2, а. Показанная отрывная зона имеет застойный характер и сильно нагревает стенку.

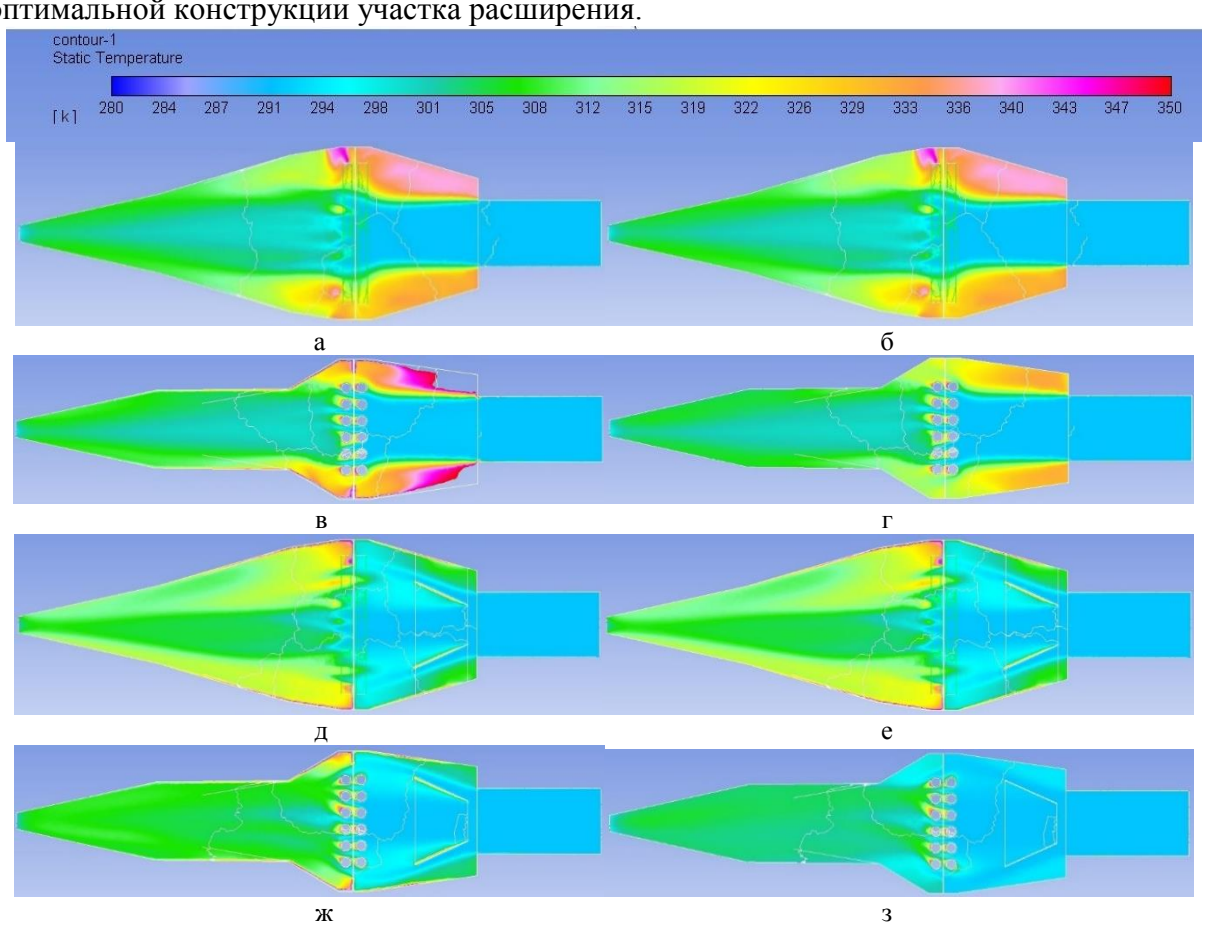
Для устранения этого явления было принято решение сделать направляющие для основанного потока, которые направят его на стенки и предотвратят захват горячего воздуха от нагревателя. Для определения оптимальных геометрических размеров направляющих было выполнено численное моделирование с различными углами направляющих поверхностей (от 12 до 72 град.), а так же площадью отбора основного потока в области перехода от круглой трубы к квадратному сечению (от 25 до 100%), равное отношению площади квадратного сечения в канале направляющих к площади круглого сечения трубы.



а б

Рис. 2. Структура потока по итогам анализа векторов скорости для базовой модели (а) и с оптимизацией проточной части (б): 1 – вход потока; 2 – нагревательный элемент; 3 – сужающий канал; 4 – выход потока; 5 – направляющие поверхности

При низках углах направляющих поверхностей и больших площадях отбора основного потока образовалась застойная зона, которая не продувалась холодным воздухом и нагревала стенку. При увеличении угла и больших площадях на входе в участок направляющих так же ситуация не изменялась. Проведение расчетов с различными соотношениями площадей и углов показала оптимальную конструкцию для данных условий 48 градусов и 45 % площади отбора основного потока. Структура потока визуализированная по векторам скорости для оптимальной конструкции направляющих показана на рис. 2, б. На рис. видно, что направляющие отбирают часть основного потока и направляют его на охлаждение сеток, затем в другой плоскости возвращаются в основной поток, то есть зона отрывного течения получилась не застойной и все время омывается новыми порциями холодного воздуха. На рис. 3 показано распределение температурных полей на малых скоростях потока для базовой и оптимальной конструкции участка расширения.



а б

в г

д е

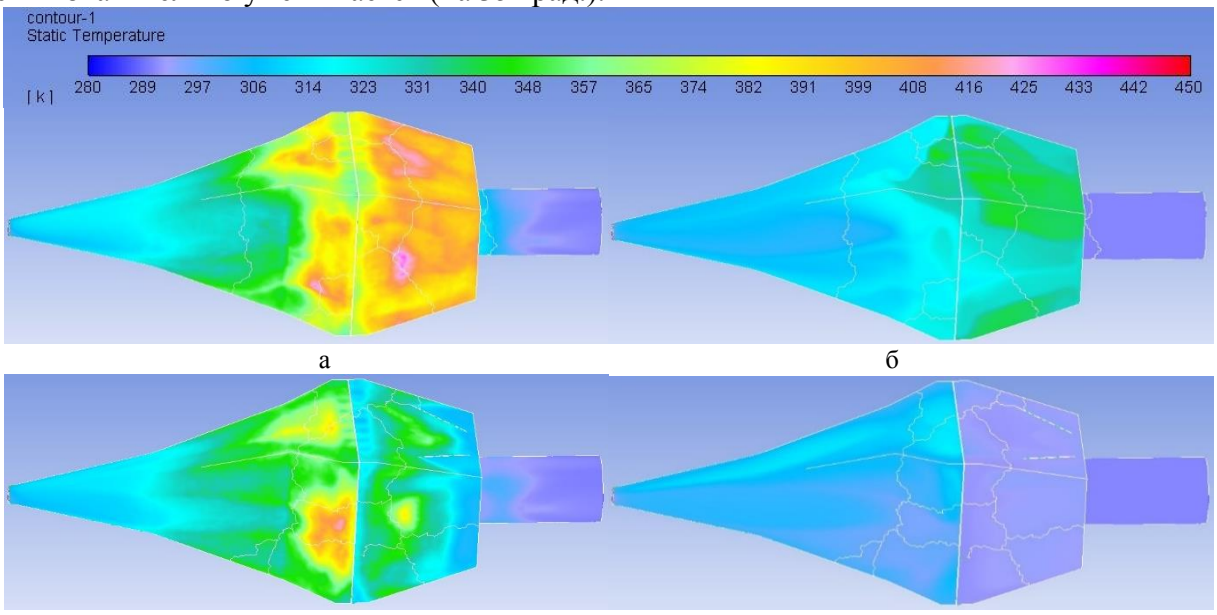
ж з

Рис. 3. Температурное распределение в продольных плоскостях рассматриваемого участка при малых скоростях потока: 1) модели с учетом лучистого теплообмена -а, в, д, ж; 2) продольные сечения выполненные по оси потока и направленные вдоль нагревательного элемента – а, б, д, е; 3) продольные сечения выполненные по оси потока и направленные поперек нагревательного элемента – в, г, ж, з; 4) базовая конструкция диффузорного канала – а, б, в, г; 4) конструкция диффузорного канала с направляющими потока – д, е, ж, з

Для проверки работы на разных скоростях были выполнены соответствующие расчеты,

которые показали, что увеличение скорости потока уменьшают температурный нагрев стенок, а принятая конструкция направляющих хорошо работает в широком диапазоне регулирования скоростей.

Нужно отметить, что при численных моделированиях лучистый теплообмен вносит весомый вклад в нагрев стенки. В среднем стенка и область воздуха возле нее прогревается более интенсивно на 44 градусов (рис. 4). Поэтому при моделировании нельзя не учитывать эту составляющую. На рис. 4 показано температурное состояние стенки канала для базовой и модернизированной конструкции. Видно, что стенки базовой модели прогреваются значительнее по сравнению с модернизированной. При малых скоростях потока лучистый теплообмен сильно влияет на нагрев стенок, а при увеличении скорости потока его вклад уменьшается в связи с интенсификацией теплообмена от стенки к потоку и температура стенки значительно уменьшается (на 35 град.).

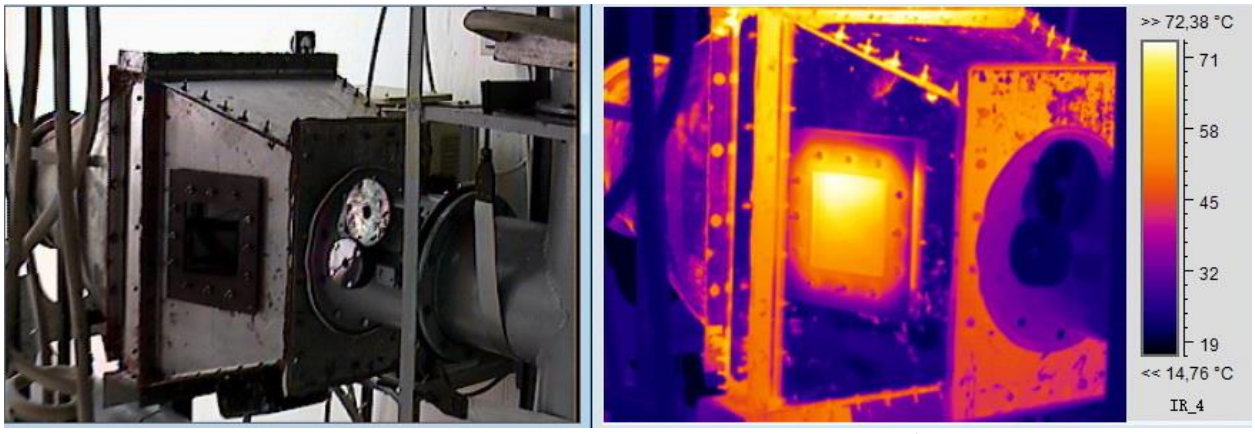


а б

в г

Рис. 4. Расчетная температура стенок канала: а, б – базовая модель; в, г - конструкция диффузорного канала с направляющими потока; а, в – с моделью лучистого теплообмена; б, г – без учета модели излучения

Для качественной оценки состояния стенок замер температур и визуализация теплового состояния стенок канала была проведена с использованием тепловизора SAT S-280. В качестве примера на рис. 5 показаны такие визуализации, на инфракрасной картинке видно, что корпус прогревается до температур 60-70 градусов что соответствовало расчетным данным.



а б

Рис. 5. Визуализация рабочего участка нагревателя:
а – внешний вид; б – картина полученная с помощью тепловизора

Низкие температуры на боковых стенках по сравнению с фланцевыми соединениями

объясняется разной степенью черноты поверхностей и отражательной способности, кроме того влияет угол съемки термограммы, он не должен превышать 60 град. [4], а так же шероховатость поверхности. Для приведения их к одному значению были выполнены маркером черные метки на поверхности, по которым контролировалась температура. Это приблизило значения коэффициента черноты к значениям близким единице. Для уточнения вводимого в тепловизор коэффициента степени черноты использовался тарированный лабораторный термометр. Также, в качестве поправки, в программу прибора вводилась отраженная температура, в качестве которой принималась температура окружающей среды. Все опыты проводились без попадания в область съемки солнечных лучей, которые могут вносить искажение в получаемую картину долгое время даже после их отсутствия. Результаты замера температур сопоставлялись с результатами расчетов и было выявлено завышение расчетных значений, так как численный расчет производился без учета материала стенок и теплопередачи во внешнюю среду. По этой причине внешняя поверхность стенок, замеренная тепловизором, отличалась от расчета.

Таким образом, в результате проведения работ по оптимизации диффузионного канала численным методом, были выполнены направляющие поверхности (полный угол между поверхностями 48 градусов и 45 % площади на входе для отбора основного потока), которые позволили снизить максимальную температуру стенок канала на 31 градусов. Было показано что использование модели лучистого теплообмена приближает расчетные данные по нагреву стенок канала к реальным значениям, но необходимо проводить учет материала стенок и теплопередачи во внешнюю среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Материалы сайта www.ventilationpro.ru / Вычисление фронтального сечения устройства, требующегося для прохода воздушного потока.

2. *Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов* и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. Учебник для машиностроительных вузов. М.: «Издательский дом Альянс», 2010. – 423 с.: ил.

3. *Г.В. Лепеш, Т.В. Потемкина, Г.А. Спроге* Моделирование процесса тепломассопереноса в программной среде Ansys/Fluent при дифференцированном отоплении подземного перехода. Технико-технические проблемы сервиса №4 (34), СПбГЭУ, 2015. С. 41-48.

4. *Прошкин С.С.* К вопросу о точности измерения температуры. Холод: Техника и технологии. Вестник МАХ №1, 2014. С. 51-53.

PERFECTION OF THE TEMPERATURE CONDITION OF THE WALLS IN THE FIELD OF THE HEATING ELEMENT FOR EXPERIMENTAL INSTALLATION OF SIMULATING MIXTURES OF FLOWS IN THE COMBUSTION CHAMBER GTE

Nguen T., Alexandrov Yu., Sulaiman A.

nguyenthedat1609@gmail.com

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

The paper considers the issues of gas-dynamic optimization of the diffuser channel in front of the heating element. Optimization is achieved by reducing the heating temperature of the channel walls by installing flow guiding surfaces.

УДК 621.452.32

СОЗДАНИЕ АЛГОРИТМА РАСЧЁТА СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ И ТУРБОСТАРТЕРА

Новикова Ю.Д, Зубанов В.М., Поветкин И.С.
y.d.novikova@gmail.com
Научный руководитель: Г.М. Попов, канд. техн. наук, доцент
(Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С.П. Королева, г. Самара)

В данной работе описан процесс создания алгоритма расчета совместной работы вспомогательной силовой установки и турбостартера. Для этого был проведен анализ взаимодействия вспомогательной силовой установки и турбостартера, сформулированы условия их совместной работы в каждой рабочей точке. Данный алгоритм планируется использовать при разработке методики расчёта совместной работы вспомогательной силовой установки и турбостартера.

Система запуска газотурбинного двигателя (ГТД) предназначена для перевода авиадвигателя из нерабочего состояния в установившийся режим малого газа, который характеризуется наименьшими оборотами ротора, при которых он может устойчиво работать длительное время [1].

Система запуска состоит из пускового устройства (стартёра), источника энергии для стартера, агрегатов подачи топлива в двигатель, системы зажигания и аппаратуры программного управления. Пусковые устройства бывают электрические (электростартёры и стартёр-генераторы), турбокомпрессорные (турбостартёр — малогабаритный ГТД) и воздушные (воздушный стартёр (ТСВ), работающий на сжатом воздухе). Процесс раскрутки, подачи топлива и его воспламенения регламентируется специальными программными устройствами по времени и по частоте вращения компрессора.

Воздушный стартер – турбоагрегат, работающий на сжатом воздухе. Он поставляется вспомогательной силовой установкой (ВСУ), представляющей собой отдельный малогабаритный ГТД, устанавливаемый на борту летательного аппарата, и выполняющего обычно роль энергоузла самолета в случаях, когда основные ГТД не работают. В аварийных ситуациях сжатый воздух может подаваться и от наземных установок или воздушных баллонов, а также от компрессора соседнего, уже запущенного авиадвигателя.

Таким образом воздушная турбина ТСВ является важнейшим, но далеко не единственным элементом системы запуска. По этой причине при проектировании и модернизации турбины важно помнить, что она работает в составе сложной системы, и по этой причине, кроме непосредственного изменения конструкции стартера, важно рассмотреть ее взаимодействие с другими элементами системы. В технической практике существует большое число примеров, когда элемент с высокими эксплуатационными характеристиками при работе в составе изделия показывал их резкое ухудшение. Этот факт говорит о важности учета совместной работы элементов сложной системы друг на друга.

Для системы запуска ГТД в первую очередь важно согласовать работу ВСУ и воздушной турбины [2]. Действительно, если максимальная эффективность турбостартера или требуемая проектная мощность будет иметь место при расходах или уровнях давления недоступных для ВСУ, требуемые характеристики системы запуска никогда не будут достигнуты. С другой стороны, если турбостартер будет оказывать сильный дросселирующий эффект, это будет приводить к неустойчивой работе ВСУ, что также делает систему запуска не работоспособной.

Целью настоящей работы является создание алгоритма расчёта совместной работы вспомогательной силовой установки и турбостартера.

Схема взаимодействия ВСУ и ТСВ показана на рисунке 1. От ВСУ отбирается сжатый воздух с параметрами $G_{\text{отб}}$, $p^*_{\text{отб}}$, $T^*_{\text{отб}}$. Далее он через магистральные трубопроводы самолёта попадает на вход в ТСВ. При этом, в магистралях, проложенных внутри самолёта, имеют

место потери ΔG, Δp^*, ΔT^*. Отработанный воздух из турбины сбрасывается в атмосферу.



Рис. 1. Схема взаимодействия ВСУ и ТСВ

Исходя из анализа описанной выше схемы совместной работы ВСУ и ТСВ, были сформулированы условия совместной работы в каждой рабочей точке:

– расход воздуха, отбираемого от ВСУ, с учётом потерь (утечек) в подводящих магистралях, должен быть равен расходу воздуха через ТСВ;

– давление воздуха, отбираемого от ВСУ, с учётом потерь в подводящих магистралях, должно быть равно давлению воздуха на входе в ТСВ;

– температура воздуха, отбираемого от ВСУ, с учётом потерь в подводящих магистралях, должна быть равна температуре воздуха на входе в ТСВ.

Для поиска рабочих точек, отвечающим приведенным выше условиям, был разработан алгоритм, блок-схема которого показана на рисунке 2.

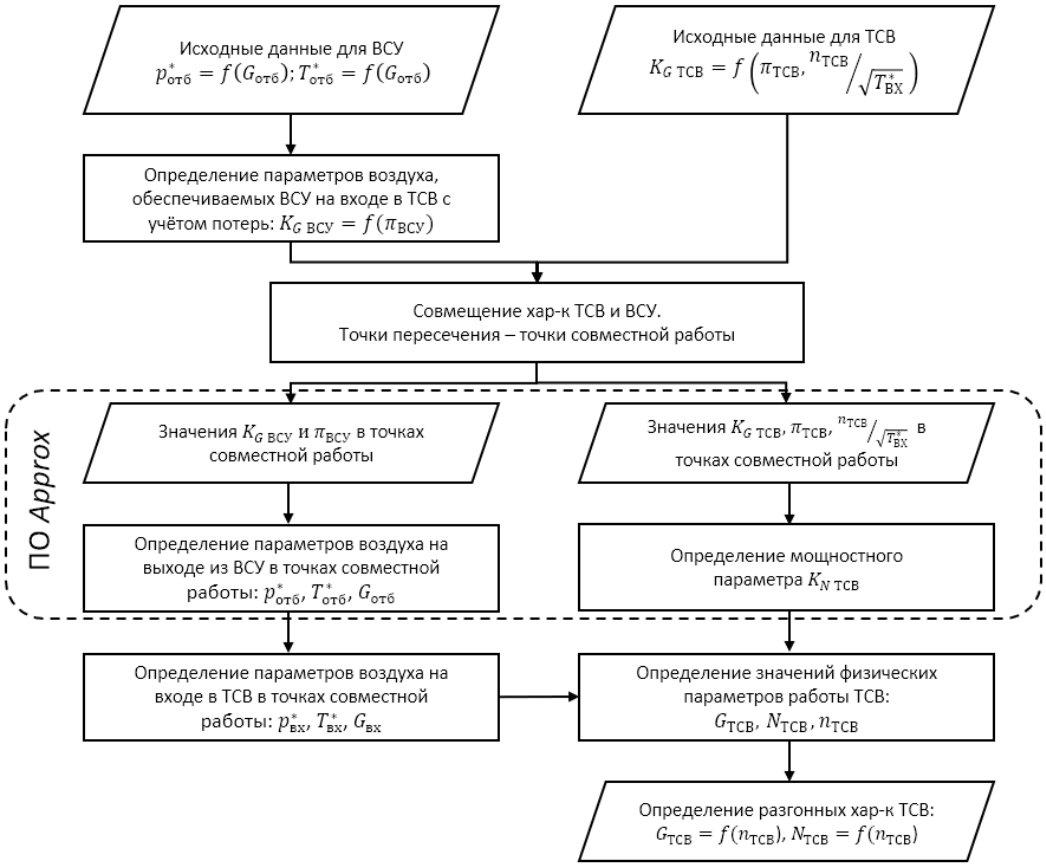


Рис. 2. Блок-схема предложенного алгоритма расчёта совместной работы ВСУ и ТСВ

Алгоритмом расчёта совместной работы ВСУ и ТСВ представляет собой следующую последовательность действий:

1) Характеристики ВСУ в виде зависимостей $p^*_{отб} = f(G_{отб})$ и $T^*_{отб} = f(G_{отб})$ преобразуются к виду зависимости $K_{G\ ВСУ} = f(\pi_{ВСУ})$ для всех высот полета ЛА. $K_{G\ ВСУ}$ – это

параметр расхода, определённый по параметрам воздуха, отобранного от ВСУ с учётом потерь в магистралях самолёта, и, таким образом, он определяет параметры воздуха на входе в ТСВ:

$$K_{G\,\text{ВСУ}} = \frac{G_{\text{отб}}[\frac{\text{кг}}{\text{с}}] \cdot \Delta G \cdot \sqrt{(T^*_{\text{отб}}[\text{К}] - \Delta T[\text{К}])}}{p^*_{\text{отб}}[\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}] - \Delta p[\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}]};$$

где $p^*_{\text{отб}}$ - давление воздуха отбираемого от ВСУ, кг/см2;

Δp – потери давления в магистралях подвода воздуха от ВСУ до ТСВ, кг/см2;

$T^*_{\text{отб}}$ - температура воздуха, отбираемого от ВСУ, К;

ΔT – падение температуры воздуха в магистрали между ВСУ и ТВС, К;

$G_{\text{отб}}$ – значение расхода отобранного от ВСУ воздуха, кг/с;

ΔG – коэффициент утечек в магистралях подвода воздуха от ВСУ до ТСВ, кг/с;

2) Характеристики ВСУ вида $K_{G\,\text{ВСУ}} = f(\pi_{\text{ВСУ}})$ совмещаются с характеристиками ТСВ вида $K_{G\,\text{ТСВ}} = f\left(\pi^*_{\text{ТСВ}}, {n_{\text{ТСВ}}}\Big/{\sqrt{T^*_{\text{ВХ}}}}\right)$. Точки, где эти характеристики пересекаются, являются точками, удовлетворяющим условиям совместной работы ВСУ и ТСВ.

3) По известным характеристикам ВСУ и найденным значениям $K_{G\,\text{ВСУ}}$ и $\pi_{\text{ВСУ}}$, находящимся на линии совместной работы, ищутся значения параметров рабочего процесса ВСУ в точках совместной работы $p^*_{\text{отб}}$, $T^*_{\text{отб}}$, $G_{\text{отб}}$. Для поиска используется программа аппроксимации Approx.

4) Ищутся значения параметров воздуха на входе в ТСВ $p^*_{\text{вх}}$, $T^*_{\text{вх}}$, $G_{\text{вх}}$, используя найденные значения параметров отобранного от ВСУ воздуха в точках совместной работы и данные о величине потерь в магистралях самолёта.

5) Ищутся значения мощностного параметра работы ТСВ $K_{N\,\text{ТСВ}}$в точках совместной работы ВСУ и ТСВ по известным характеристикам ТСВ и найденным значениям параметров $K_{G\,\text{ТСВ}}$, $\pi^*_{\text{ТСВ}}$, ${n_{\text{ТСВ}}}\Big/{\sqrt{T^*_{\text{ВХ}}}}$ в точках совместной работы. Для поиска используется программа аппроксимации Approx.

6) По известным значениям параметров $K_{G\,\text{ТСВ}}$, $K_{N\,\text{ТСВ}}$ рассчитываются значения физических параметров работы ТСВ, ${n_{\text{ТСВ}}}\Big/{\sqrt{T^*_{\text{ВХ}}}}$ а также параметрам воздуха на входе в ТСВ $p^*_{\text{вх}}$, $T^*_{\text{вх}}$, $G_{\text{вх}}$.

7) На основе рассчитанных данных формируются разгонные характеристики ТСВ при работе от ВСУ на выбранном режиме работы в виде $G_{\text{ТСВ}} = f(n_{\text{ТСВ}})$, $N_{\text{ТСВ}} = f(n_{\text{ТСВ}})$. Здесь также делается заключение о возможности достижения требуемой частоты вращения турбины.

На основе разработанного алгоритма рассчитывается совместная работы ВСУ и ТСВ для заданных условий работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Иноземцев, А.А.* Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок: учеб. / А.А. Иноземцев, М.А. Нихамкин, В.Л. Сандрацкий. – М.: Машиностроение, 2008. – Т.2. – 368 с.

2. *Кулагин, В.В.* Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: учебник /В.В. Кулагин. - М.: Машиностроение, 2002. - 616 с.

CREATING AN ALGORITHM FOR CALCULATING A JOINT WORK OF AUXILIARY POWER INSTALLATION AND TURBOSTARTER

Novikova Yu., Zubanov V., Povetkin I.
y.d.novikova@gmail.com
Supervisor: G. Popov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor
(Samara National Research University, Samara)

This paper describes the process of creating an algorithm for calculating the joint operation of an auxiliary power unit and a turbine starter. To this end, an analysis was made of the interaction between the auxiliary power unit and the turbine starter, and the conditions for their joint work at each operating point were formulated. This algorithm is planned to be used in the development of methods for calculating the joint operation of an auxiliary power unit and a turbine starter.

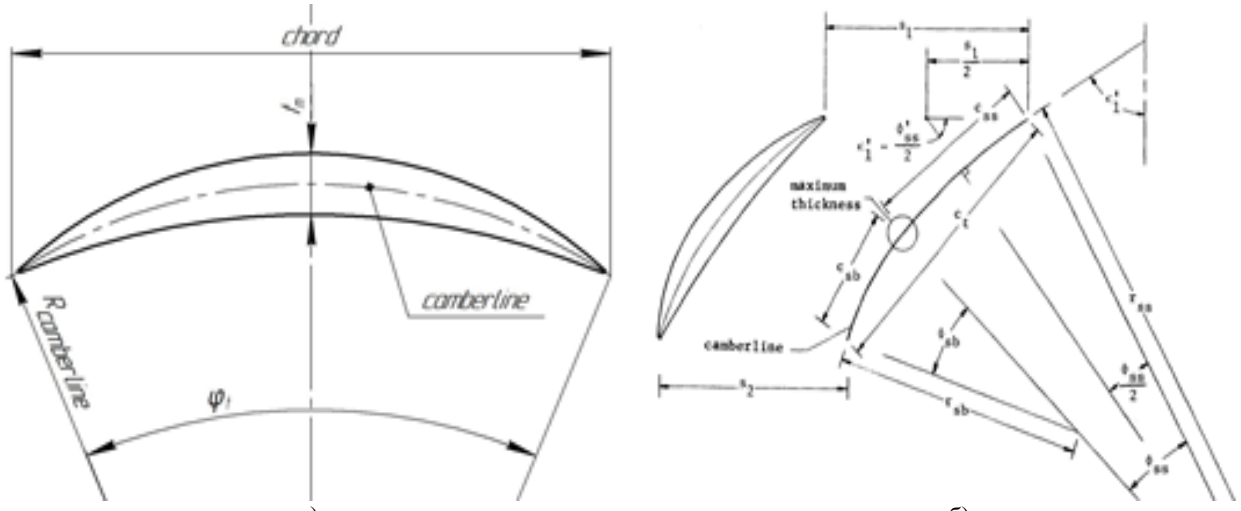
УДК 533.692.3

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЛОПАТОК ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА

Попов Г.М., Кудряшов И.А., Сулейманов А.Р.
ivan.kudryash1337@gmail.com
Научный руководитель: В.Н. Матвеев, д-р техн. наук, профессор
(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара)

В данной работе рассмотрена и модернизирована методика профилирования лопаток осевого компрессора по дуговому и двухдуговому профилю. На основе модернизированной методики создана программа для построения профилей лопаток. Описан алгоритм получения и расчета данных профилей в программе Microsoft Excel.

В самолетостроении в качестве силовой установки применяются газотурбинные двигатели различных типов: ТРДД, ТРД, ТРДДсм, ТРДФ, ТВаД, ТВД. Неотъемлемой частью данных двигателей является компрессор: осевой, центробежный, или осецентробежный. Одной из главной состовляющей этого узла двигателя является лопаточный венец или просто лопатка. В последние несколько десятилетий в высоконагруженных ступенях осевого компрессора и вентилятора применяются двухдуговой и дуговой профили лопаток (рисунок 1). Данные профили применяются в таких двигателях, как Ge90, GEnx, CFM56, LEAP X и других.



а) б)

Рис. 1. Дуговой(а) и двухдуговой(б) профили лопаток

Двухдуговой профиль – это профиль лопатки, средняя линия которого описывается двумя дугами окружностями: одна дуга окружности – сверзвуковой участок межлопаточного канала, вторая дугая окружности – дозвуковой участок межлопаточного канала. Спинка и корытце описываются двумя дугами окружностей, параметры которых зависят от выбранного закона распределения толщины. В зарубежной литературе это Multiple Circular Arc blade section (MCA). Данный тип профиля используется в сверхзвуковых высоконагруженных ступенях при числах Маха 1,1≤M≤1,5 [1], таких как лопатки вентилятора и первые ступени компрессора высокого давления.

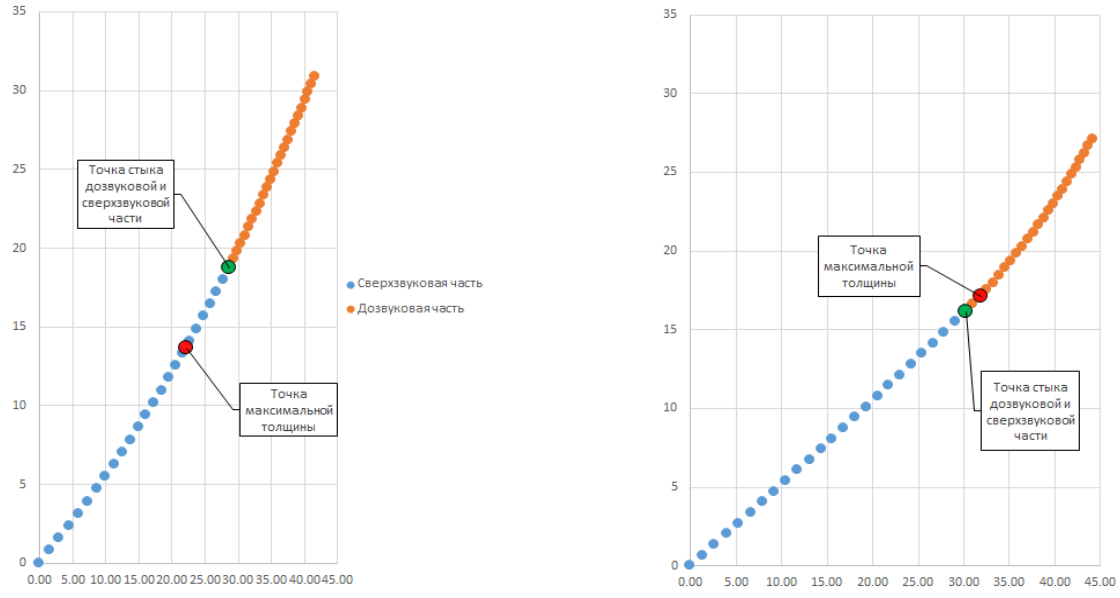
Дуговой профиль – это профиль лопатки, средняя линия которого описывается одной дугой окружности, частный случай двухдугового профиля. Спинка и корытце профиля также описываются дугами окружности, параметры которых определяются аналогично двухдуговому профилю. В зарубежной литературе это Double Circular Arc blade section (DCA). В основном используется для ступеней с числом Маха 0,7≤M≤1,2 [1].

В отечественной литературе [2] и [3] приведена методика построения только дугового профиля, а о двухдуговом профиле в свободном доступе имеется недостаточное количество информации для воспроизведения этого типа профиля лопаток. Вследствии этого было решено провести исследования в зарубежных источниках. В результате был найден технический отчет NASA [4], в котором приведено описание построение средней линии MCA и DCA профилей.

В методике, которая представлена в [4], в качестве исходных данных используются следующие параметры: β_1 – угол потока на входе в относительном движении; β_2 – угол потока на выходе в относительном движении; φ_{ss}/φ_t – отношение угла поворота сверхзвуковой части к углу поворота потока; s_1 – окружная координата максимальной толщины и др.

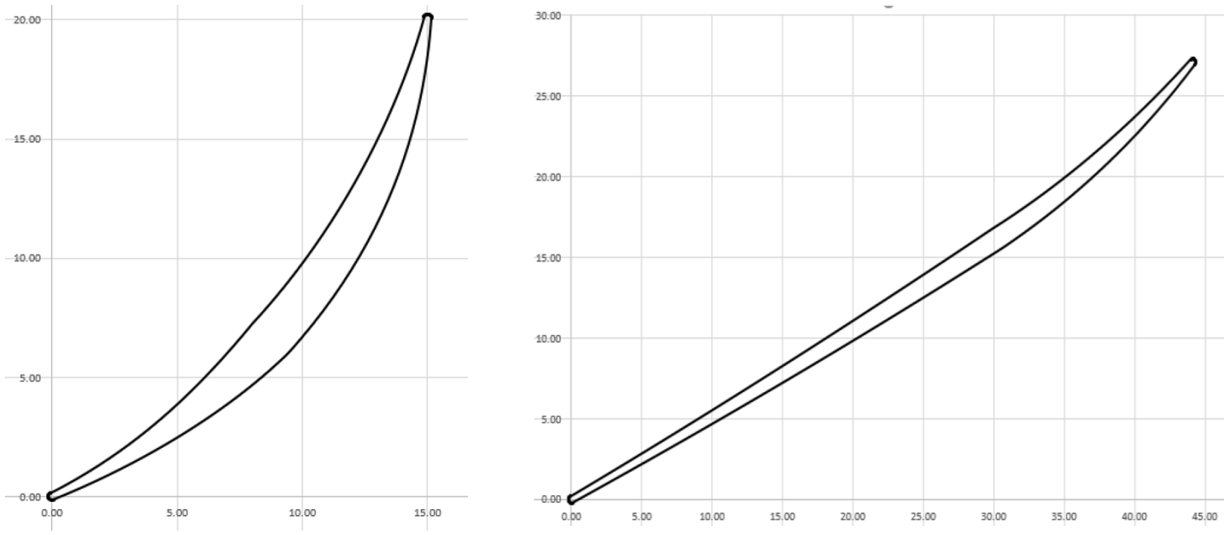
Данная методика предполагает расчет угла установки γ и координаты положения максимальной толщины c_m по заданному значению φ_{ss}/φ_t. Однако данный вариант неудобен в случае, если угол установки профиля известен заранее. Поэтому выполнена модернизация методики создания средней линии, путем вывода и добавления новых зависимостей.

В модернизированной методике в качестве исходных данных параметры φ_{ss}/φ_t и s_1 заменены на γ – угол установки профиля, c_m – положение максимальной толщины соответственно. Также добавлен закон распределения толщины профиля. В результате рассчитываются координаты как средней линии дугового или двухдугового профилей (рисунок 2), так и координаты спинки и корытца для двухдугового или дугового профилей лопаток (рисунок 3).



а) б)

Рис. 2. Среднеяя линия двухдугового (а) и дугового (б) профилей



а) б)

Рис. 3. Дуговой (а) и двухдуговой (б) профили

В результате проведенной работы создана программа «Система профилирования осевого компрессора» (СПОК) для построения профилей лопаток. Алгоритм программы состоит из следующих действий. На основе входных данных, которые описаны выше, по модернизированной методике рассчитываются координаты точек средней линии. Затем, в соответствии с выбранным законом распределения толщины выполняется расчет координат точек спинки и корытца профиля лопатки. Полученные значения экспортируются в файл с расширением «.geomturbo», который далее используется для создания модели лопатки в программном пакете NUMECA FineTurbo.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Wright L.C.* Blade Selection for a Modern Axial-Flow Compressor. // AiResearch Manufacturing Company. 1975. 24 p.

2. *Белоусов А.Н.* Теория и расчет авиационных лопаточных машин // Самара: ФГУП Изд-во «Самарский Дом печати». 2003. 336 с.

3. *Холщевников К.В.* Теория и расчет авиационных лопаточных машин // М.: Издательство “Машиностроение”, 1970. – 614 с.

4. *Seyler D.R.* Single stage experimental evaluation of high mach number compressor rotor blading. Part 1 - Design of rotor blading. // Advanced Technology and Demonstrator Programs Department Flight Propulsion Division General Electric, Lynn, Massachusetts/Cincinnati, Ohio. 1967. 83 p.

DEVELOPMENT A METHOD FOR PROFILE OF AXIAL COMPRESSOR BLADES

Popov G., Kudryashov I., Suleymanov A.

ivan.kudryash1337@gmail.com

Supervisor: V. Matveev, Doctor of Engineering Sciences, Professor

(Samara National Research University. Samara)

This paper discusses the technique for profiling axial compressor blades along an double circular arc and multiple circular arc profile. On the basis of the modernized methodology, a program has been created for the construction of blade profiles. An algorithm for obtaining and calculating these profiles in Microsoft Excel is described.

УДК 536.24

HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP CORRELATIONS FOR TURBULENT FLOW IN TUBES WITH INNER HELICAL RIBS

Skrypnik A.
anskrypnik@kai.ru
Supervisor: A. Schelchkov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Turbulent flow correlations for friction factor and heat transfer are developed based on experimental data for tubes with inner helical ribs existed in literature. The correlations describe the experimental data within ±18 to 30 percent with a confidence interval of P=95%.

Introduction

Helical ribs on the inner surface of a tube is a well-known heat transfer augmentation technique. Such turbulent promoters intend the turbulization and the periodical destruction of the boundary layer by inducing the swirling flow. Therefore, helically-ribbed pipes are widely used in boilers, air conditioning systems, chemical industry, and food-processing.

There are various methods of producing the helically-ribbed pipe surfaces: by wire inserts, surface corrugation, machining on a lathe etc. Characteristic dimensions of the tube with inner helical ribs are presented in fig. 1.

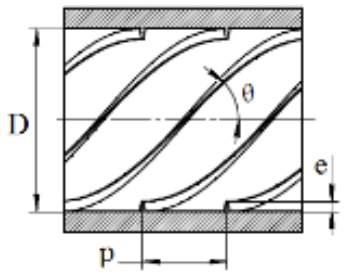


Figure 1. Characteristic dimensions of a tube with inner helical ribs:
θ – helical angle of the ribs; e – height of the rib; D – diameter of the tube; p – axial pitch

A review of the literature on the flow and heat transfer in tubes with inner helical ribs indicates the difference of opinion regarding the recommendations on the values of helical angle of ribs. Tubes with a relatively low helical angle (θ=18-30°) of ribs are primarily used in the industry. Whereas research papers show the greater efficiency for the tubes with the higher helical angles θ=70-86°. For the practical application, helically-ribbed pipe geometrical parameters must be justified in accordance with the demands.

Heat transfer and friction factor correlations development

The database for the correlation development considers results on heat transfer and friction of the single-phase turbulent flow in pipes with inner helical ribs available in the literature

Heat transfer and friction factor data were correlated by the assumed model:

$$\xi(=2\cdot\Delta P/[(L/D)\cdot(\rho\cdot w^2)]),\mathrm{Nu}(=\alpha D/\lambda)=\mathrm{f}(\mathrm{Re}_D, e/D, p/D, p/e, N, \theta/90) \qquad (2)$$

The choice of factors included in the model was based on the similarity theory, dimensional analysis, and literature review. The reviewed parameters and its physical meaning is explained in Table 1.

The analysis of the reciprocal influence between the factors mentioned above revealed the usage of the full range overdetermine the flow over the helically-ribbed pipe surface. According to the analysis geometric simplices which include e, p and θ were chosen. However, the axial pitch p could be included in two different dimensionless simplices: p/e и p/D. Therefore, p/e simplex was excluded since the rib height e is considered by the factor e/D.

Table 1

Characteristic parameters and its physical meaning

Parameter	Description	Parameter meaning
Re_D	Reynolds number	The ratio of inertial and viscous forces. Characterizes a flow regime.
p/e	Relative rib spacing	Characterizes a separation and reattachment of the flow after the ribs.
e/D	Relative rib height	The exposure of the rib height on the flow structure. The influence is subject to the boundary layer height (or roughness height e+).
p/D	Axial pitch	Characterizes a flow separation and reattachment zone.
N	Number of starts	Characterizes an integral roughness of the heat transfer surface. It unites geometrical parameters – p and θ.
θ/90	Normalized helix angle	Characterize the flow rotation degree at the near the wall layers in helically-ribbed pipes. The helix angle value is normalized by the maximum angle of the helix (θ=90°).

In this regard, the generalization model (1) transforms to:

$$\xi, \mathrm{Nu}=\mathrm{f}(\mathrm{Re}_D, e/D, p/D, \theta/90) \quad (3)$$

The model has been justified by the accuracy of the obtained correlations (described below).

The correlation equations were developed by polynomial regression method by means of the least square method.

The database for the friction factor and heat transfer coefficient contains more than 2200 points.

One of the most extensive research was presented in T. Ravigururajan, A. Bergles [1] with a smaller number of experimental points (1650 and 1800 points for the friction factor and Nusselt number respectively) by the following correlation model:

$$\xi, \mathrm{Nu}=f(\mathrm{Re}_D^{e/D,p/D,\theta/90}, (e/D)^{\mathrm{Re}_D,p/D,\theta/90}, (p/D)^{\mathrm{Re}_D,e/D,\theta/90}, (\theta/D)^{\mathrm{Re}_D,e/D,p/D}) \quad (4)$$

This model considers all the mutual effects of the factors included with the maximal experimental data deviation of ±35% both to the Nusselt number and friction factor ($P=0.9$). However, analysis of developed correlations shows the absence of physical meaning despite the higher correlation accuracy.

In the view of high demands on the reliable prediction of thermal and hydraulic properties of heat exchange equipment (in the transport and energy sectors) mentioned experimental data deviation is not satisfactory.

In that regard, further research on the heat transfer and friction factor experimental data variation for the flow in helically-ribbed pipes were carried out. Based on the results obtained and analysis of the flow structure the experimental data were categorized by the flow parameters and ribs geometry.

One of the key parameters for the data characterization is the relative distance between the ribs *p/e*. As explained in table 1, the parameter *p/e* characterizes the flow separation for the flow over the ribs. as shown in Webb (1971) [2].

As it is shown in Webb, for the pipes with repeated rib roughness ($\theta=90°$) the flow structure could be categorized by the flow patterns downstream of the rib as a function of the relative rib spacing *p/e* . Edwards and Sheriff [1961] have shown the heat transfer coefficient reaches the peak at the reattachment point downstream the rib at the relative distance between the rib equal p/e≈10. Thus, for the rib spacing $p/e<10$ most of the rib spacing distance is filled by the recirculation zone and therefore lower values of the heat transfer coefficients obtained.

With an increase of the relative rib spacing $p/e>10$ after the reattachment point downstream the rib the boundary layer growth begins. With an increase of the relative rib spacing $p/e>10$ after the reattachment point downstream the rib the boundary layer growth begins (if the rib height is comparable to the boundary layer thickness).

In the scope of this work it had been assumed that such patterns downstream the transverse ribs ($\theta=90°$) are valid for the helical ribs ($\theta<90°$). This assumption is supported by the analysis of the flow structure carried out in Bergles (1994), Garcia (2007).

Taking this into account, as the threshold value of *p/e* at which the flow pattern change occurs

was chosen *p/e=10*. Accordingly, the database for the friction factor and heat transfer coefficient were divided into two groups- with *p/e<10* (predominance of the recirculation zone) and p/e>10 (with the declining impact of the rib on the flow structure).However, it must be noted that the reattachment point varies *p/e=6-15* according to the mutual influence of geometrical and flow parameters.

Further, the experimental data were categorized by the value of the helix angle θ or by the normalized helix angle $\theta/90$, relatively to the maximum angle of the helix ($\theta=90°$-transverse ribs). The helix angle increase leads to a decrease in the flow rotation intensity. For the value of the helix angle of θ>50° the flow separation dominates over the flow rotation (Olimpiev 1992, Brodov 1987). The flow structure is similar to the flow over transverse ribs. Thus, the greatest contribution to heat transfer augmentation is made by flow separation.

Consequently, according to the database analysis and the flow patterns the threshold value of B was found to be: for *p/e<10*- $\theta=50°$ and for *p/e>10*- $\theta=45°$.

The friction factor ξ (5) and Nusselt number *Nu* (6) correlations for the turbulent flow of single phase Newtonian flow obtained by the authors are listed below:

$$\xi = A \cdot \mathrm{Re_D}^{n} \left(\mathrm{e/D}\right)^{m} \cdot \left(\mathrm{p/D}\right)^{k} \cdot (\theta/90)^{l} \quad (7)$$

p/e	**θ**	**A**	**n**	**m**	**k**	**l**	**P**	**R^2**
≤10	θ<50°	1,22	-0,32	0,06	-0,26	0,08	±22%	0,74
≤10	θ>50°	2,28	-0,01	1,05	-0,41	0,61	±26%	0,69
>10	θ<45°	1,14	-0,2	0,13	-0,04	1,0	±18%	0,91
>10	θ>45°	8,16	-0,18	0,87	0,34	0,63	±30%	0,85

$$\overline{\mathrm{Nu}} = B \cdot \mathrm{Re_D}^{n} \cdot \left(\mathrm{e/D}\right)^{m} \cdot \left(\mathrm{p/D}\right)^{k} \cdot (\theta/90)^{l} \cdot \mathrm{Pr}^{0,4} \quad (8)$$

p/e	**θ**	**B**	**n**	**m**	**k**	**l**	**P**	**R^2**
≤10	θ<50°	0,0056	0,85	-0,35	-0,14	0,45	±12%	0,97
≤10	θ>50°	0,054	0,82	0,017	0,15	1,0	±32%	0,97
>10	θ<45°	0,205	0,7	0,2	-0,28	-0,03	±26%	0,96
>10	θ>45°	0,107	0,79	0,216	-0,22	-0,46	±34%	0,94

where *A, B, n, m, k, l*- are coefficients of the model; *P*- the deviation of the experimental data from the correlation with the confidence interval of *P=0.95*., and *R*2- the coefficient of determination.

Equation (5) statistics:

- for *p/e≤10* and $\theta<50°$: the database contains 341 experimental points in the following range ReD=9,2·103-8,5·104; *p/e*=2,27-9,88, *p/D*=0.059–0,816; *e/D*=0.02-0.36; θ=25-50°, $\theta/90$=0.277-0.533, *N*=1-18;

- for *p/e*≤10 и $\theta>50°$: the database contains 381 experimental points in the following range ReD=2,7·103-2,6·105; *p/e*=1,95-10, *p/D*=0.156–2,17; *e/D*=0.02-0.236; θ=50-90°, $\theta/90$=0.533-1.0, *N*=1-54;

- for *p/e>10* и $\theta<45°$: the database contains 459 experimental points in the following range ReD=3,2·103-2,5·105; *p/e*=13,11-167,72, *p/D*=0.15–6,9; *e/D*=0.01-0.2; θ=24-46°, $\theta/90$=0.27-0.511, *N*=1-54;

- for p*/e>10* и $\theta>45°$: the database contains experimental points in the following range ReD=3,1·103-4,9·105; *p/e*=10,59-76,61, *p/D*=0.143–3,11; *e/D*=0.01-0.22; θ=45-90°, $\theta/90$=0.5-1.0, *N*=1-54.

Equation (6) statistics:

- for *p/e≤10* и $\theta<50°$: the database contains 110 experimental points in the following range ReD=1,2·103-7,6·104; Pr=0,7-8, *p/e*=0,55-9,71, *p/D*=0.059–0,389; *e/D*=0.02-0.105; θ=29-48°, $\theta/90$=0.33-0.53, *N*=1-18;

- for *p/e≤10* и $\theta>50°$: the database contains 434 experimental points in the following range ReD=3,9·103-4·105; Pr=0,7-8, *p/e*=1,13-10, *p/D*=0.1–2,17; *e/D*=0.01-0.298; θ=55,8-90°,

$\theta/90$=0.62-1.0, N=1-54;

- for $p/e>10$ и $\theta<45°$: the database contains experimental points in the following range ReD=3·103-1,1·105; Pr=0,7-8, p/e=13,85-167,72, p/D=0.54–17,81; e/D=0.01-0.218; θ=24-46°, $\theta/90$=0.11-0.51, N=1-54;

- for $p/e>10$ и $\theta>45°$: the database contains 1280 experimental points in the following range ReD=3·103-4,2·105; Pr=0,7-8, p/e=10,72-81,71, p/D=0.14–4; e/D=0.01-0.21; θ=46-90°, $\theta/90$=0.51-1.0, N=1-54.

Consequently, the experimental data deviation from correlations (7) and (68) considerably less than for similar one obtained in A. Bergles and T. Ravigururajan [1]. The remained deviations, in the authors view, might be associated with the fact that the rib shape influence on the friction factor augmentation had not been taken into consideration in the scope of this work. The rib shape impact on flow characteristics was stated in the studies of Hijikata [1987], Dreizer [1990], Tarasevich et al. [2015]. To date, however, there is no robust methods for accounting the rib shape influence on the flow structure. The other key factor affecting the accuracy of the correlations is the presence of the data related to the flow in pipes the wire coil inserts.

The wire coil inserts is a frequently used heat transfer augmentation technique. However, at low axial pitch values, the contact between the wall surface and the wire may be interrupted. This leads to the friction value change due to the flow underneath the wire inserts. Flow structure downstream the rib changes what leads to the deviation of the friction factor and Nusselt number at the related pipe geometry in the database.

Conclusion

General correlations for friction factor and Nusselt number for the flow in helical-ribbed pipes are presented. Reported correlations are useful in the heat exchanger design in a wide rib geometry range. The work was implemented as a part of Russian Scientific Foundation grant number 19-19-00259.

REFERENCES:

1. *Ravigururajan TS, Bergles AE.* Development and verification of general correlations for pressure drop and heat transfer in single-phase turbulent flow in enhanced tubes // Experimental Thermal and Fluid Science. - 1996. -Vol. 13, no. 1.- Pp. 55–70

2. *Webb RL, Eckert ERG, Goldstein RJf.* Heat transfer and friction in tubes with repeated-rib roughness // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 1971. — Vol. 14, no. 4. — Pp. 601–617.

3. *Skrypnik A. N. et al.* Thermohydraulic Efficiency of Tubes with Internal Spiral Finning //Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2018. – Т. 91. – №. 1. – С. 52-63.

4. *Popov I. A. et al.* Hydraulic resistance of tubes with internal helical finning designed by deforming cutting //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2018. – Т. 980. – №. 1. – С. 012004.

5. *Vicente P.G, Garcıa A., Viedma A.* Experimental investigation on heat transfer and frictional characteristics of spirally corrugated tubes in turbulent flow at different Prandtl numbers // International Journal of Heat and Mass Transfer. - 2004.- Vol. 47, no. 4. - Pp. 671–681

ОБОБЩАЮЩИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ И ТЕПЛООТДАЧИ В ТРУБАХ С ВНУТРЕННИМ СПИРАЛЬНЫМ ОРЕБРЕНИЕМ

Скрыпник А. Н.
anskrypnik@kai.ru
Научный руководитель: А. В. Щелчков, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В работе представлены обобщающие зависимости для коэффициентов трения и теплоотдачи труб с внутренним спиральным оребрением в широком диапазоне режимных и относительных геометрических

параметров. Данные зависимости получены на основе имеющихся на сегодняшний день литературных данных. Отклонение экспериментальных данных от обобщающих зависимостей, представленных в работе, составляло ±18-30% при доверительной вероятности P=0.95.

УДК 621.7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРЕБРЕННЫХ ПЛОСКИХ ТРУБ АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МАСЛА

Скрыпник А.Н.
anskrypnik@kai.ru
Научный руководитель: И. А. Попов, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Основная цель работы - разработка пассивных методов воздействия на пристенную область теплопередающих поверхностей для повышения энергетической эффективности воздухоохлаждаемых теплообменников при фиксированных энергозатратах установок, в состав которых они входят. В работе показаны возможности выбора геометрических параметров оребрения плоских теплообменных секций для обеспечения наилучших тепловых показателей при фиксированных энергозатратах приводной техники аппарата воздушного охлаждения масла и уменьшения массогабаритных характеристик теплообменной секции.

В настоящее время только в России эксплуатируется около 52 000 аппаратов воздушного охлаждения (АВО) с установленной мощностью привода вентиляторов порядка 2,1-106 [кВт], при этом парк АВО непрерывно увеличивается. Для расчета необходимой площади теплообменной поверхности воздухоохлаждаемых теплообменников используется средняя для района температура воздуха [2], поэтому большую часть времени данные теплообменные аппараты функционируют с большим запасом площади [3,4]. Недостатками стандартной конструкции воздухоохлаждаемых теплообменников являются большие габариты поверхности охлаждения, значительная металлоемкость теплообменных секций и аппарата в целом, высокая потребляемая мощность привода вентилятора, обусловленная большими потерями давления охлаждающего воздуха при движении его через многорядный пучок оребренных труб и значительным количеством труб в аппарате. Недостатки, указанные выше, являются следствием незначительных значений коэффициента теплопередачи, что характерно для всех газожидкостных поверхностных теплообменников. Невысокая интенсивность теплопередачи предопределена плохими теплофизическими свойствами воздуха, используемого в качестве охлаждающего теплоносителя, вследствие чего, даже при принудительном движении воздуха, коэффициент теплоотдачи в среднем не превышает 50-150 [Вт/(м2•К)], в то время как коэффициент теплоотдачи внутри труб по стороне охлаждаемого продукта находится в интервале 600-4000 [Вт/(м2•К)]. Таким образом, воздухоохлаждаемым теплообменникам свойственна пониженная энергоффективность [3-6]. Для повышения эффективности необходимо использование различных типов интенсификаторов теплообмена или развитие поверхности теплообмена эффективным оребрением [4-7].

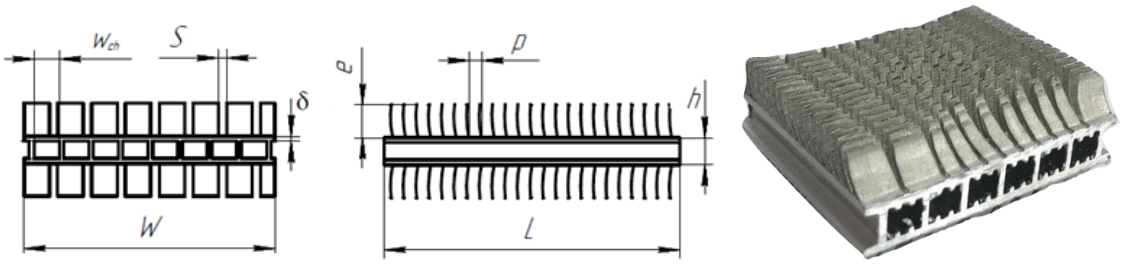
В данной работе сделана попытка определить рациональные геометрические размеры оребренных плоских теплообменных труб, получаемых методами экструзии и деформирующего резания, обеспечивающих, при фиксированных энергозатратах приводной техники аппарата воздушного охлаждения масла, снижение весогабаритных характеристик теплообменной секции.

Цель работы - исследование гидродинамики и теплообмена при течении теплоносителя в образцах теплообменной секции и определение наиболее рациональных геометрических размеров оребрения. Полученные экспериментальные результаты определения величин тепловых потоков и потерь давления впоследствии необходимы для проведения численного

моделирования в широком диапазоне определяющих параметров, с целью получения локальных характеристик теплообменной поверхности, верификации результатов численных исследований, и про-ведения оптимизации аппаратов воздушного охлаждения масла производства ООО «Фирма «Термокам» для установок компримирования воздуха/или газа, проектируемых на основе полученных результатов исследования.

Экспериментальные исследования проводились на образцах теплообменной секции АВО, представляющих собой плоские трубы из алюминиевого сплава, полученные методом экструзии, на поверхностях которых механической обработкой (методом деформирующего резания) сформирована система ребер.

Схема и внешний вид теплообменной секции показан на рис. 1. Геометрические параметры секций сведены в табл. 1. Способ изготовления – экструзия труб с формированием выступов на широких стенках плоской трубы для формирования ребер методом деформирующего резания, путем подрезки и отгиба металла. Толщина ребер по высоте варьируется в диапазоне от 0,2 мм до 0,35 [мм] (у основания); ширина разрезов ребер для всех труб равна S=1 [мм], а длина теплообменной секции составляла L=1400 [мм].



а б в

Рис. 1ю Схема (а), (б) и внешний вид (в) теплообменной секции

Таблица 1

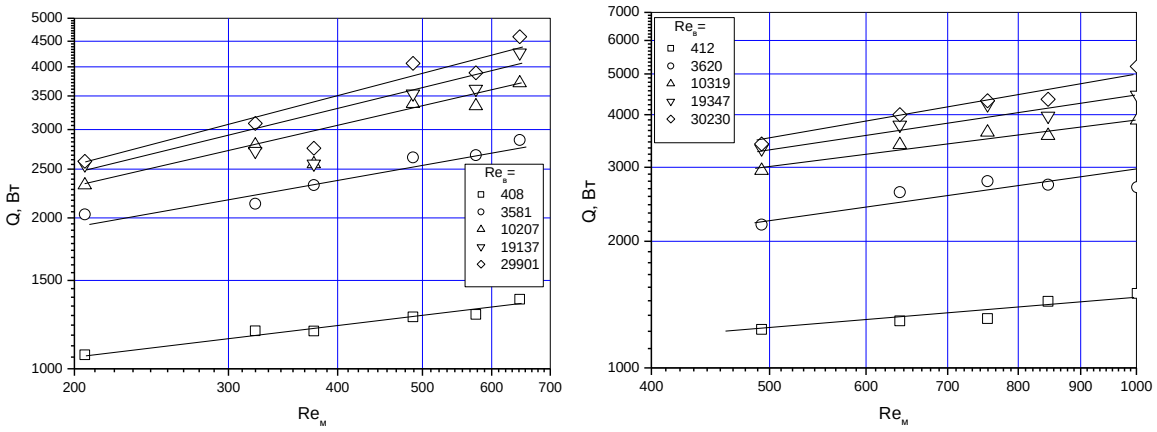
Геометрические характеристики образцов теплообменной секции

№ образца	Шаг ребер *p*, [мм]	Высота ребер *e*, [мм]	Толщина стенок канала трубы, [мм]	Ширина секции трубы W, [мм]	Высота плоской трубы h, [мм]	Количество внутренних каналов, шт	Ширина внутреннего одного канала W_{ch}, [мм]
1	2	8,5	1,2	52	8,0	6	6
2	2	6,5	1,2	52	8,5	6	6
3	2,5	4	1,2	52	8,5	6	6
4	3,75	5,5	1,2	52	8,5	6	6
5	2,5	8	1,2	67,5	8,3	8	6
6	2,5	8	1,2	67,5	8,5	8	6
7	3,75	6	1,2	67,5	9,2	8	6

После обработки результатов экспериментального исследования для каждого типоразмера теплообменной секции были получены первичные результаты в виде зависимостей тепловой мощности от режимных параметров (числа Рейнольдса). На рис.2 приведен пример такой зависимости для образцов №2 и №5.

Далее представлен анализ эффективности образцов теплообменной секции в зависимости от параметров оребрения. Анализ проводился при фиксированных расходах обоих теплоносителей - масла и воздуха, которые принимались из условий эксплуатации АВО на уровне $G_м$ =0,31±0,1 кг/с и $G_в$ =0,36±0,1 кг/с, соответственно. Так как параметры труб изменялись, то это приводило к изменению скоростей теплоносителей (чисел Рейнольдса) и соответственно коэффициентов теплоотдачи как внутри теплообменной секции, так и снаружи. Необходимо указать, что при указанных в табл.1 параметрах оребрения теплообменной секции коэффициенты эффективности оребрения изменяются от 0,83 при высоте ребра 8,5 мм до 0,95 при высоте ребра 4 мм.

В таблице 2 представлены результаты анализа тепловой мощности, тепловой эффективности и общее термическое сопротивление теплопередаче секции оребренной трубы.



а б

Рис. 2. Тепловая мощность исследованных образцов теплообменной секции зависимости от режимных параметров. а - образец №5, б – образец №2

Таблица 2

Теплогидравлические характеристики теплообменных секций

№ образца	Тепловая мощность секции оребренной трубы, Вт	Тепловая эффективность секции оребренной трубы	Общее термическое сопротивление теплопередаче, ($м^2$ К)/Вт	Удельная масса секции оребренной трубы, кг/м	Коэффициент компактности, $м^2/м^3$
1	4302	0,278	$1{,}36 \cdot 10^{-3}$	0,802	13156
2	4267	0,272	$1{,}35 \cdot 10^{-3}$	0,802	11720
3	3821	0,243	$1{,}33 \cdot 10^{-3}$	0,802	7580
4	2905	0,188	$1{,}64 \cdot 10^{-3}$	0,802	5888
5	4457	0,312	$1{,}63 \cdot 10^{-3}$	1,025	7885
6	2738	0,177	$2{,}04 \cdot 10^{-3}$	1,025	7821
7	3700	0,24	$1{,}86 \cdot 10^{-3}$	1,025	4566

Полученные результаты по тепловой мощности образцов теплообменной секции показывают, что максимальное значение наблюдается у образца №5 с наибольшей высотой ребер (8 мм) и одним из минимальных шагов ребер (2,5 мм) в исследованном диапазоне. Данный образец имеет большую площадь теплообмена из-за большей ширины. Однако образец №1 с подобными размерами ребер, несмотря на то, что его ширина (площадь теплообмена) меньше, чем у образца №5, обеспечивает передачу практически той же тепловой мощности. В первую очередь это связано с тем, что в опытах фиксировался расход теплоносителя (масла), площадь проходного сечения образца №1 меньше, чем у образца №5, т.е. скорость течения масла в образце №1 выше, что в итоге снизило термическое сопротивление теплопередачи из-за роста коэффициента теплоотдачи, по сравнению с образцом №5. Таким образом, данная теплообменная секция может снизить весогабаритные характеристики блока аппарата воздушного охлаждения масла при фиксированных параметрах работы насосного масляного агрегата и вентиляторной установки. Аналогичный результат дает и анализ тепловой эффективности исследованных образцов теплообменной секции (таб. 2).

Последующая оценка эффективных коэффициентов теплопередачи, учитывающих развитие поверхности и эффективность оребрения и значения общего термического сопротивления между потоками масла и воздуха показывают, что наименьшее термическое сопротивление имеет серия образцов №1-3, у которых шаг ребер составлял 2-2,5 мм при изменении высоты ребер практически в два раза – от 4 до 8,5 мм, и меньшем проходном сечении каналов по маслу, что повышает скорость течения масла при фиксированном его

расходе и, как следствие, коэффициенты теплоотдачи с его стороны и коэффициент теплопередачи в целом.

На основе полученных результатов оценки тепловой эффективности, наиболее рациональные геометрические параметры теплообменной секции отмечены для образца №5, обеспечивающего максимальную передаваемую тепловую мощность, как за счет достаточно высоких значений коэффициентов теплопередачи, так и за счет значительной площади теплообмена.

Однако при прогнозировании характеристик теплообменных аппаратов важно знать не только их тепловую мощность, но и затраты мощности на прокачку теплоносителя. Обычно обеспечение высоких тепловых характеристик достигается за счет увеличения потерь давления и, как следствие, повышения мощности на прокачку. На рис. 3 представлено сравнение исследуемых образцов теплообменной секции по критериям энергетической эффективности М. В. Кирпичева- Е.

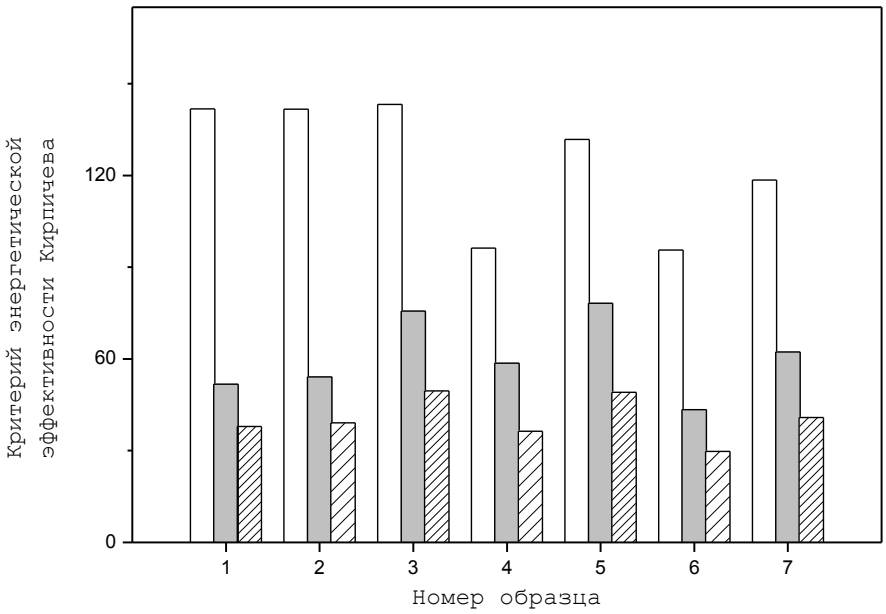


Рис. 3. Критерий энергетической эффективности М.В.Кирпичева E=Q/N исследованных образцов теплообменной секции. Столбец без заполнения- расчет по Nв, серый столбец- расчет по Nм, столбец со штриховкой- расчет по (Nв+ Nм). (Параметры образцов см. табл.1.)

Наибольшие значения критерия Кирпичева- Е (рис.5) соответствуют рациональным типоразмерам теплообменной секции, так как обеспечивают передачу тепловой энергии при минимальных затратах энергии на прокачку теплоносителя. Таким образом, за счет высокой тепловой эффективности, несмотря на высокие потери давления, наилучшие показатели по воз-душному каналу ($N_в$) имеют также образцы теплообменной секции № 1-3. Однако, за счет меньшего проходного сечения и увеличения скорости течения масла в теплообменной секции, данные образцы имеют ухудшение критерия эффективности Кирпичева Е по мощности на прокачку определяемой по масляному тракту ($N_м$). Максимальный суммарный критерий эффективности при фиксированных эксплуатационных режимных параметрах имеет образец №5 и составляет $E = 49.5$.

Анализ значений критерия энергетической эффективности В.М. Антуфьева Е’ подтверждает ранее сделанные выводы о лучшей теплогидравлической эффективности образца тепло-обменной секции №5. Для данного образца отмечено максимальное значение суммарного критерия энергетической эффективности В. М. Антуфьева равное Е’=1.02, при вариации значении данного коэффициента для других образцов в пределах Е’=0.77-0.92.

Таким образом, при сохранении габаритов аппарата воздушного охлаждения масла, за счет использования теплообменной секции с повышенной тепловой эффективностью

(образец №5) возможно увеличение количества отводимого тепла в данном ТА, или уменьшение весогабаритных характеристик аппарата воздушного охлаждения масла при сохранении его тепловой мощности, что может также привести дополнительно к уменьшению затрат мощности на прокачку и повышению теплогидравлической эффективности аппарата в целом.

В качестве рекомендации, необходимо указать, что для уменьшения потерь давления со стороны воздушного потока, торцы плоских труб необходимо изготавливать закругленными. В [7] показано повышение теплогидравлической эффективности такой конструкции оребренных овальных (плоских) труб с ребрами по широким сторонам по сравнению с круглыми трубами и овальными трубами с различной компоновкой ребер.

В работе проведен анализ пассивного метода воздействия на пристенную область теплопередающей поверхности за счет получения оребрения, ресурсоэффективным (безотходным) методом деформирующего резания, для повышения энергетической эффективности воздухо-охлаждаемых теплообменников. На основе различных критериев эффективности произведен и обоснован выбор геометрических параметров образцов теплообменной секции АВО, обеспечивающих своими геометрическими параметрами теплообменной поверхности (оребрения) при фиксированных энергозатратах приводной техники аппарата воздушного охлаждения масла наилучшие показатели.

Работа выполнена в лаборатории МФТП КНИТУ-КАИ при поддержке российско-белорусского гранта РФФИ 19-58-04006-бел-мол-а и договора МФТП-3 с ООО «Фирма «Термокам».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Попов И.А., Гортышов Ю.Ф., Олимпиев В.В.* Промышленное применение интенсификации теплообмена - современное состояние проблемы (обзор) // Теплоэнергетика. - 2012.- № 1. - С. 3.

2. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

3. *Кунтыш В.Б., Пиир А.Э.* Анализ тепловой эффективности, объемной и массовой характеристик теплообменных секций аппаратов воздушного охлаждения // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2009. - № 5. - С. 3-6.

4. *Попов И.А., Яковлев А.Б., Щелчков А.В., Рыжков Д.В., Обухова Л.А.* Перспективные методы интенсификации теплообмена для теплоэнергетического оборудования // Энергетика Татарстана. - 2011. - № 1 (21).- С. 25-29.

5. *Олимпиев В.В.* Интенсификация теплообмена и потенциал энергосбережения в охладителях технических масел // Теплоэнергетика. - 2010. - № 8.- С. 40.

6. *Бродов Ю.М., Аронсон К.Э., Рябчиков А.Ю., Бухман Г.Д.* Разработка и опытно-промышленная проверка комплекса мероприятий по повышению эффективности и надежности работы маслоохладителей // Электрические станции. - 1994. - № 12. - С. 33.

7. *Письменный Е.Н., Демченко В.Г., Терех А.М., Семеняко А.В., Кулик К.В.* Экономайзер-утилизатор из плоскоовальных труб с неполным оребрением // Восточно-европейский журнал передовых технологий. - 2010. - №3/1 (45). - С. 15-19.

EXPERIMENTAL STUDY OF THERMOHYDRAULIC CHARACTERISTICS OF FINNED FLAT TUBES OF OIL AIR COOLING APPARATUS

Skrypnik A.
anskrypnik@kai.ru
Supervisor: I. Popov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Main objective of the work is to develop passive methods of influence on the near-wall area of heat transfer surfaces to improve the energy efficiency of air-cooled heat exchangers at fixed energy consumption of the installations in which they are part. The paper shows the possibility of selecting the geometric parameters of the ribbing of flat heat exchange sections to provide the best thermal performance at fixed energy consumption of the drive technology of the air cooling oil and reduce the mass-dimensional characteristics of the heat exchange section.

УДК 621.43.056

ИЗУЧЕНИЕ СМЕШЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА С ВОЗДУХОМ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГТД

Суламанидзе А.Г.
duck878@yandex.ru
Научный руководитель: А.В. Бакланов, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В работе рассматривается горелка с двумя видами форсунок, отличающимися способом распыла газа. Одна центробежная газовая форсунка ЦБГФ другая струйная газовая форсунка СГФ. В связи с этим произведено определение качества подготовки топливовоздушной смеси в закрученной струе на выходе из горелок с двумя типами форсунок. Установлено, что наилучшее качество смещения обеспечивает форсунка со струйным распылом топлива.

Качество подготовки топливовоздушной смеси в камерах сгорания (КС) газотурбинных двигателей (ГТД) во многом определяет эффективность сжигания топлива, при этом качество смешения обеспечивается способом подачи топлива в камеру сгорания [1].

В данной работе рассматривается две форсунки, работающие на газообразном топливе, которые отличаются способом подачи топлива[2].

Принцип работы первой заключается в подаче закрученной газовой струи из центра горелки. Такую форсунку можно классифицировать, как центробежная газовая форсунка (ЦБГФ).

Вторая форсунка отличается от первой тем, что из конструкции исключен шнек, а на кончике форсунки вместо одного отверстия располагаются четыре равнорасположенных отверстия служащих для выхода газа [3].

Для проверки качества смешения топлива с воздухом за горелкаси с СГФ и с ЦБГФ проведены исследования.

Исследования проводились на стенде (рис.1) включающем в себя трисистемы: подвода воздуха, подвода газа и системой измерения [4]. Размещение горелки на стендовом оборудовании происходит следующим образом: форсунка устанавливается в корпус ресивера, к штуцеру которой поступает топливо. Горелка размещается втулочной частью в отверстии крышки ресивера. Топливо из струйных форсунок подается во внутреннюю полость соплового насадка, в результате чего на выходе из горелки формируется топливовоздушная смесь.Топливо в систему подачи топлива, подводится от баллонной рампы.В качестве газа заменяющего метан используется углекислый газ CO_2. Для измерения полей концентрации на выходе из горелки установлено координатное устройство с приемником газоанализатора ПКУ-4-МК-С. Это устройство позволяет перемещать приемник газоанализатора в осевом и радиальном направлении. Измерения концентрации производятся

от центра горелки, за который принята ось форсунки «0», с дальнейшим перемещением пробоотборника в обе стороны вдоль сопла горелки, поперек струи через каждые 4 мм. По данному принципу измерения повторно производятся в семи сечениях: на срезе сопла и через каждые 50 мм до расстояния 300 мм [5].

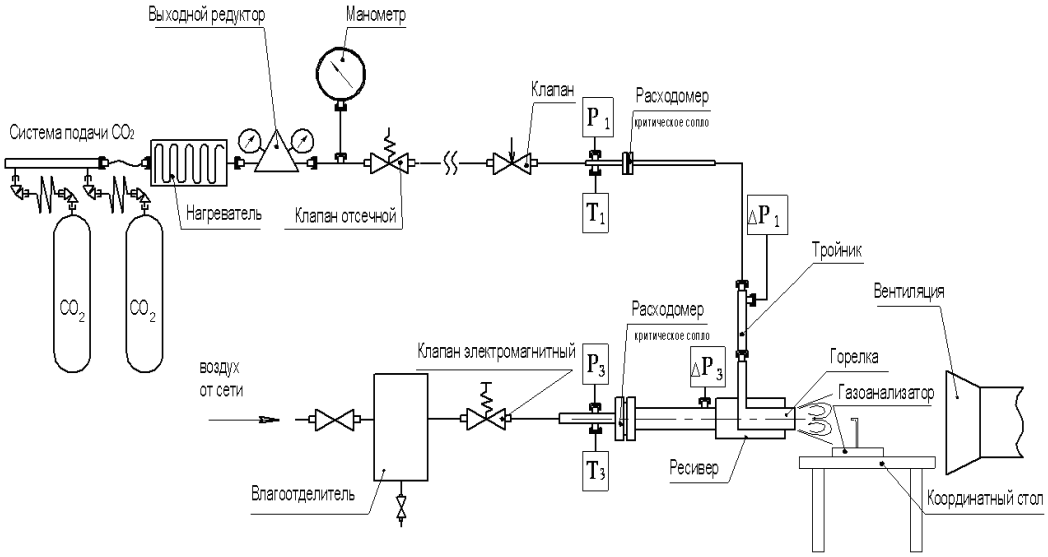


Рис. 1. Принципиальная схема стенда

Измерения концентраций CO_2 в струях горелки так же было направлено на определение расстояния, на котором происходит выравнивание поля концентрации, а так же с целью фиксации темпа изменения концентрации вдоль оси струи [6].

Качество подготовки оценивалось при помощи зависимости, характеризующей максимальное относительное отклонение концентрации от среднеинтегрального значения поля концентраций [7]:

$$\overline{C} = \frac{C_{\max} - C_{cp}}{C_{cp}} \qquad (1)$$

где $C_{\max}$ - максимальное значение в поле измеренной концентрации,

C_{cp} - среднеинтегральное значение концентрации.

В соответствии с данной зависимостью, показателем идеально равномерного распределения концентрации топливовоздушной смеси в сечении, является значение $\overline{C} = 0$.

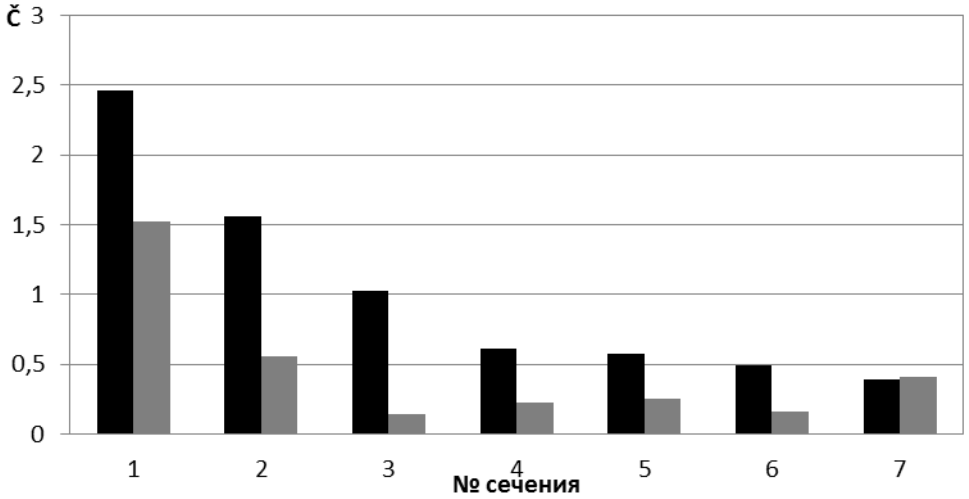


Рис. 2. Сравнение качества подготовки топливовоздушной смеси в закрученной струе горелок
■ - горелка с ЦБГФ; ■ - горелка с СГФ

Из рис.2 видно, что наилучшее качество смешения во всех семи сечениях наблюдается у

горелки с СГФ, что свидетельствует о качестве подготовки смеси [8].

Проведенные измерения полей концентрации за вихревыми горелками подтвердили, что процесс смешения достигается у горелки с СГФ за счет струйной подачи топлива в зону рециркуляции, а у горелки с ЦБГФ вследствие высокой эжекционной способности закрученной струи топлива внутри закрученной в противоположную сторону, закрученной струи воздуха.

Выводы

1) Организация струйной подачи топлива позволят наиболее эффективно сжигать газообразное топливо по сравнению с подачей закрученной струи,

2) Струйная подача топлива обеспечивает более качественную подготовку топливовоздушной смеси.

3) Для осуществления наиболее эффективного сжигания газа в камере сгорания ГТД рекомендована СГФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Конвертирование авиационных ГТД в газотурбинные установки наземного применения / Е.А. Гриценко, В.П. Данильченко, С.В. Лукачев и др. – Самара, СНЦ РАН, 2004. – 266 с.

2. *Бакланов А. В., Маркушин А. Н., Цыганов Н. Е.* Влияние формы насадка вихревой горелки на смешение в закрученной струе // Вестник казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. 2014. № 3. С. 13–18.

3. *Мингазов Б.Г., Бакланов А.В.* Исследование стабилизации пламени в модельной камере сгорания ГТД // *Известия вузов Авиационная техника №3, 2016, с 106-110.*

4. *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.

5. *Бакланов А.В.* Влияние способа подачи газообразного топлива в камеру сгорания на образование оксидов углерода в продуктах сгорания газотурбинного двигателя // Вестник Московского авиационного института. 2019. Т. 26. № 1. С. 111-125.

6. *Бакланов А.В., Маркушин А.Н.* Исследование смешения в комбинированном горелочном устройстве малоэмиссионной камеры сгорания ГТД// Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2013. № 1. С. 8-14.

7. Некоторые вопросы проектирования авиационных газотурбинных двигателей / Е.А. Гриценко, В.П. Данильченко, С.В. Лукачев и др. – Самара, СНЦ РАН, 2002г.–527с.

8. *Бакланов А.В., Неумоин С.П.* Методика определения качества смешения газообразного топлива и воздуха за вихревой горелкой камеры сгорания ГТД. Известия Вузов. Авиационная техника. - 2017. - № 1. - С. 87-92.

STUDYING THE MIXTURE OF GAS FUEL WITH AIR IN THE GTE COMBUSTION CHAMBER

Sulmanidze A.

duck878@yandex.ru

Scientific adviser: A. Baklanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

The paper considers the burner with two types of injector with different gas spray method. One injector is centrifugal gas injector (CGI) and another is jet injector (JI). In this regard it made determining the quality of air-fuel mixture preparation in swirl jet in the outlet of the burner with two types of injector. It is found that the best quality of mixing is ensured by the injector with jet spray.

УДК 621.43.056.536.46

ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ ФОРСУНКИ В СИСТЕМАХ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Халиулин Р.Р., Давыдов Н.В.
Научные руководители: В.А. Сыченков, канд. техн. наук, доцент;
В.И. Панченко, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию центробежных форсунок при изменении у них степени раскрытия сопла. Цель работы исследовать центробежную форсунку с относительно большими размерами каналов, выявить влияние степени раскрытия сопла центробежной форсунки на ее характеристики (коэффициент расхода, угол факела, ожидаемый диаметр капель).

1.Введение

Для пожаротушения в закрытых помещениях используются различные распылители (форсунки, спринклеры и др.). В системах пожаротушения (СП), задача заключается в том, чтобы предотвратить попадание кислорода в очаг пожара, путем разбрызгивания воды, распределяя оптимальным образом. СП имеют большой потенциал для поглощения теплоты, а также производимая водяная завеса охлаждает топливо и приводит к понижению температуры воспламенения. Еще одним важным преимуществом является то, что форсунка позволяет уменьшить расход жидкости. Мелкодисперсные распылители также используют для распыления химических аэрозолей для пожаротушения, а также на станциях добычи нефти или для тушения пожаров с пеной, где нельзя использовать воду.

В связи с различными данными о влиянии вязкости на мелкость распыла, возникла необходимость в исследовании форсунок с минимальным влиянием вязкости, к таким форсункам можно отнести раскрытые центробежные форсунки.

Характер воздействия различных факторов (скорость истечения жидкости, толщина пленки, плотность газовой среды, физические свойства жидкости) на мелкость распыла в центробежных форсунках отличается от характера воздействия этих же факторов на мелкость распыла в струйных форсунках [1].

Это связано с тем, что толщина пленки, создаваемой центробежной форсункой, убывает по мере удаления от соплового отверстия (пленка представляет собой полый конус) и др. [1]

Влияние вязкости в случае центробежных форсунок несколько слабее, чем при распыливании струйной форсункой [1].

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию центробежных форсунок при изменении у них степени раскрытия сопла. Цель работы исследовать центробежную форсунку с относительно большими размерами каналов, выявить влияние степени раскрытия сопла центробежной форсунки на ее характеристики (коэффициент расхода, угол факела, ожидаемый диаметр капель).

2.Анализ четырех типов тепловых двигателей

Для эксперимента нами была разработана и сделана центробежная форсунка, представленная на рисунке 1.

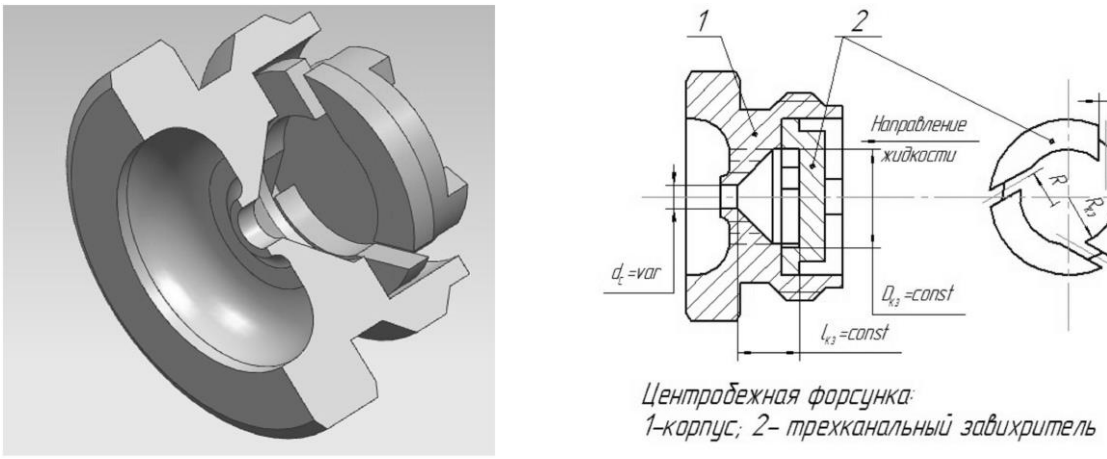


Рис. 1. Центробежная форсунка с трехканальным завихрителем

Упрощенная схема данной форсунки представлена на рисунке 2.

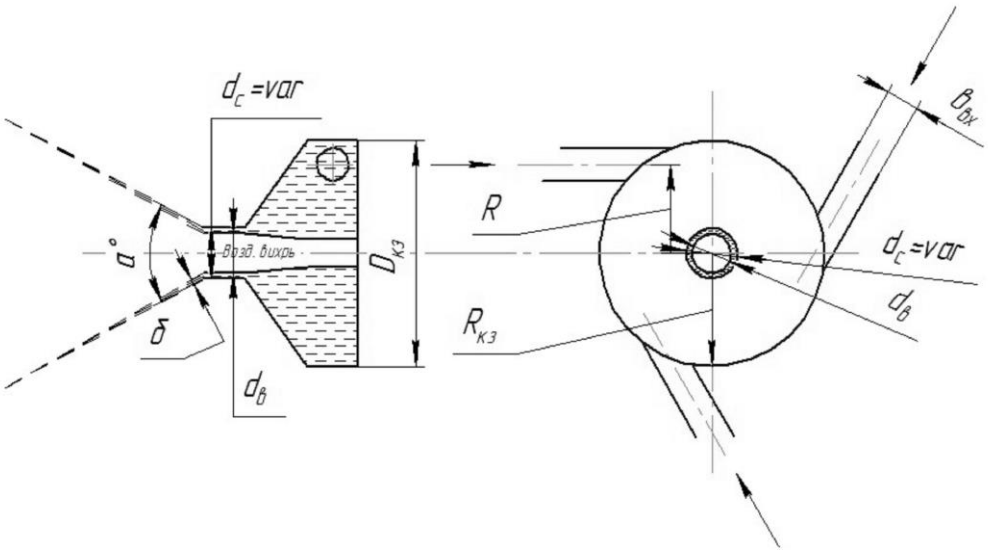


Рис. 2. Упрощенная схема экспериментальной форсунки

Степень раскрытия сопла C=$d_c/D_{кз}$; d_c = var.

Исследования проводились на центробежных форсунках с различными диаметрами сопел и с различными степенями раскрытия сопел. Размер камеры закручивания не изменялся.

Для экспериментального исследования центробежных форсунок была собрана установка (рисунок 3).

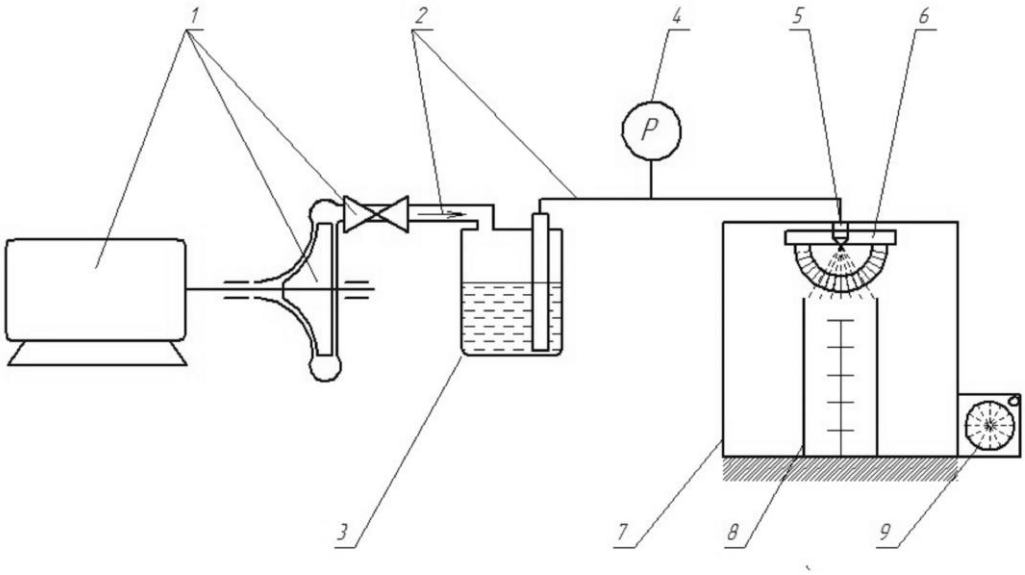


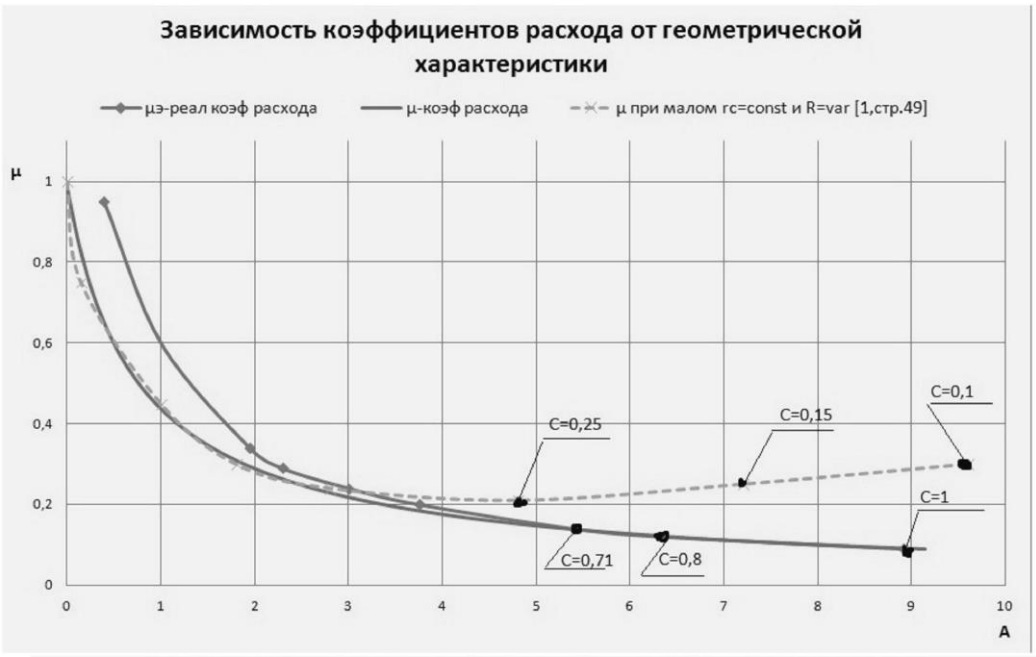
Рис. 3. Схема испытательной установки

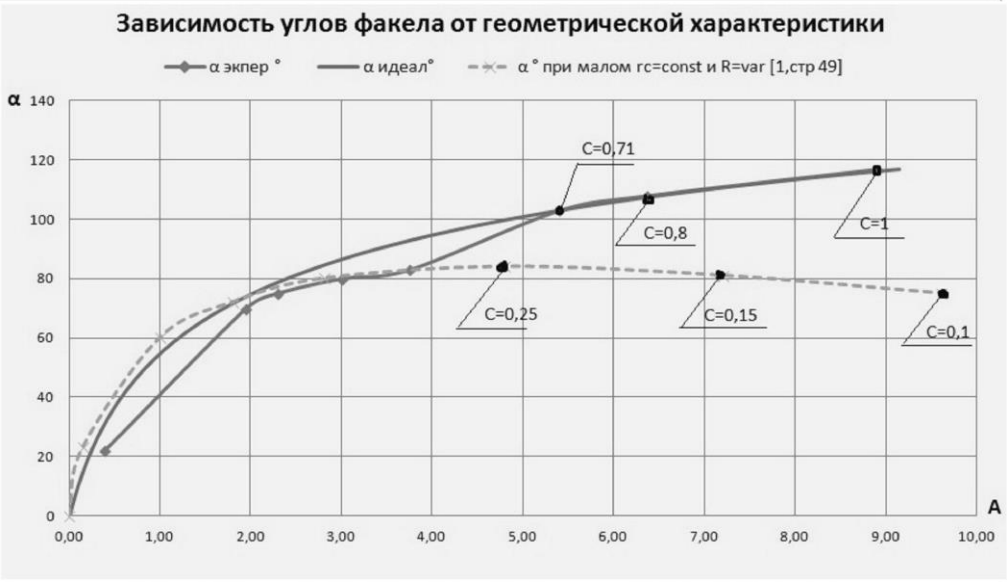
Установка включала в себя следующие элементы:
1-Компрессор и регулировочный кран
2-Трубопровод
3-Бак с водой
4-Манометр
5-Центробежная форсунка
6-Угломер для измерения угла распыла
7-Испытательная камера
8-Колба для измерения расхода воды через форсунку
9-Секундомер для измерения расхода воды через форсунку
Исследованы:
1) влияние размера сопла в диапазоне d_c=0,4÷4,5 мм;
2) влияние степени раскрытия форсунки в диапазоне C=0,09÷1.
В таблице 1 и рисунках 4 были получены следующие результаты при $\Delta P = 500000$ Па.

Таблица 1

Результаты при ΔP=5 атм

d_c (мм)	G(г/с)	α °	α °$_{ид}$	A-геом. хар-ка	μ-коэф. расхода	μ-коэф. расхода (идеал)	C	$D_{кср}$ (мкм)	δ, мм	δ/d_c
0,4	3,96	22	31	0,39	0,95	0,65	0,09	164,10	0,11	0,28
1,4	14,63	70	75	1,95	0,34	0,29	0,31	100,04	0,21	0,15
1,6	15,22	75	80	2,29	0,29	0,26	0,36	102,20	0,22	0,14
2	25,88	80	87	3	0,24	0,22	0,44	85,86	0,24	0,12
2,4	29,45	83	93	3,75	0,2	0,18	0,53	79,82	0,26	0,11
3,2	33,59	103	103	5,40	0,14	0,14	0,71	75,31	0,28	0,09
3,6	33,59	108	108	6,36	0,12	0,12	0,8	77,67	0,28	0,08
4,5	33,59	117	117	8,91	0,09	0,09	1	81,12	0,29	0,06





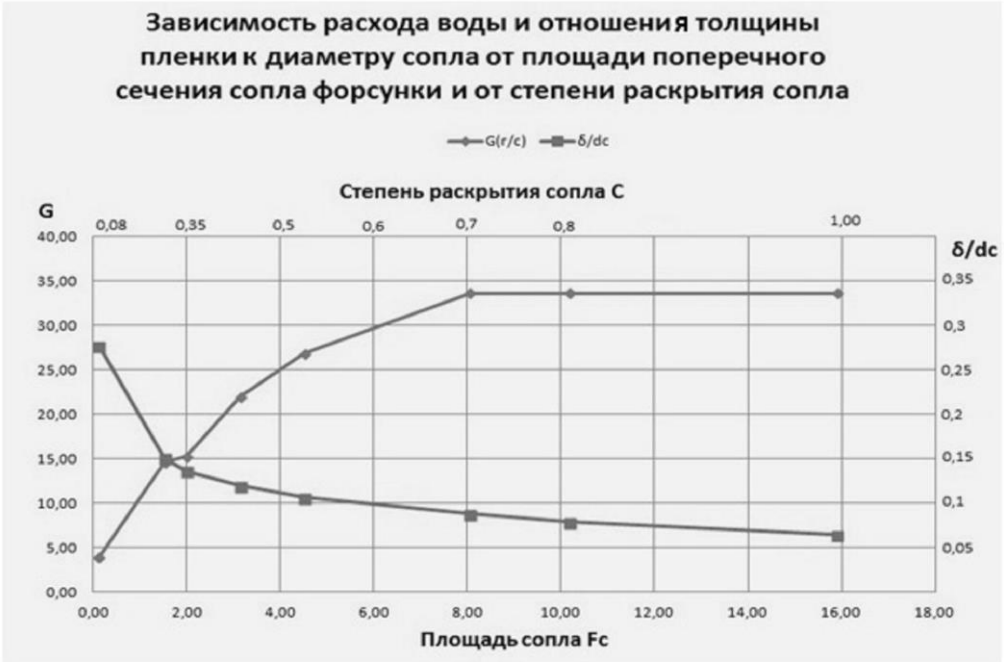


Рис. 4. Результаты при ΔP=5 атм

3.Заключение

Из сравнения полученных в данной работе результатов и графиков можно сделать следующие выводы:

-Влияние вязкости на угол факела при увеличении степени раскрытия сопла форсунки уменьшается до 0 при C≥0,71;

-В связи с исчезновением влияния вязкости на α и μ можно ожидать отсутствия влияния вязкости на диаметр капель (на распыл);

-Из графика зависимости расхода воды от площади сечения сопла форсунки можно сказать что, до тех пор пока $F_{вх}*n*\mu_{вх} > F_c*\mu$ расход зависит от площади сопла, когда же $F_{вх}*n*\mu_{вх} < F_c*\mu$ на расход влияет суммарная площадь входных тангенциальных каналов, это и объясняет то, что при диаметрах сопла d_c=3,2 ; 3,6 ; 4,5 мм G=const;

-Открытые центробежные форсунки позволяют получить достаточную мелкость распыла (малый диаметр капель), при больших сечениях канала (dc≥1 мм), при этом уменьшается стоимость форсунки и повышается стабильность характеристик;

-Из полученного значения толщины пленки жидкости можно сказать, что центробежная форсунка с диаметром сопла 4,5 мм эквивалентна струйной форсунке с диаметром 0,3 мм, отсюда вывод, что струйную форсунку с таким соплом изготовить сложнее и дороже, и в эксплуатации она будет менее надежная, чем центробежная;

-При C≥0,71 абсолютный расход жидкости G зависит от диаметра сопла при постоянных остальных параметрах, при это δ/d_c уменьшается;

-Открытые форсунки данного типа являются не только эффективными в плане распыла жидкости, но также имеют максимально простую конструкцию, что удешевляет их изготовление.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ю.Ф. Дитякин, Л.А. Клячко, Б.В. Новиков, В.И. Ягодкин*, Распыливание жидкостей. - М.: Машиностроение, 1977. - 208 с.

2. *В.Г. Попов, Н.Л. Ярославцев*. Жидкостные ракетные двигатели. - М.: Издательско-типографический центр - «МАТИ» – КТУ им. К.Э. Циолковского, 2001. - 171 с.

3. *Ю.И. Хавкин*. Центробежные форсунки. - Л.: Машиностроение (Ленинградское отделение), 1976. - 168 с.

CENTRIFUGAL ATOMIZER IN FIREFIGHTING SYSTEMS

Khaliulin R., Davydov N.

wyasen@mail.ru

Supervisors: V. Sychenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Panchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

This work is devoted to the experimental study of centrifugal nozzles when changing their degree of opening of the nozzle. Objective to investigate the centrifugal nozzle with a relatively large size of the channels, reveal the influence of the degree of opening of the nozzle swirler to its characteristics (flow coefficient, the angle of the torch, the expected drop diameter).

УДК 621.694; 621.45.026

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОГО ГАЗОВОГО ЭЖЕКТОРА С ПОДВОДОМ ВОДЫ

Халиулин Р.Р.[1], Семичев С.А.[2]
steel-toreto@mail.ru
Научный руководитель: В.А. Сыченков[1], канд. техн. наук, доцент
([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань,
[2]Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань)

Приведены результаты исследования кольцевого газового эжектора с подводом воды во внутренний контур для увеличения его эффективности. Рассмотрены различные схемы и способы подвода воды.

В работах [1-4] получен кольцевой газовый эжектор, обеспечивающий полное смешение при его длине 2,2D (рис. 1). В результате исследований эжектора удалось снизить температуру выходящих газов с 633 К на входе в эжектор до 423 К на выходе из него при коэффициенте эжекции 1,6.

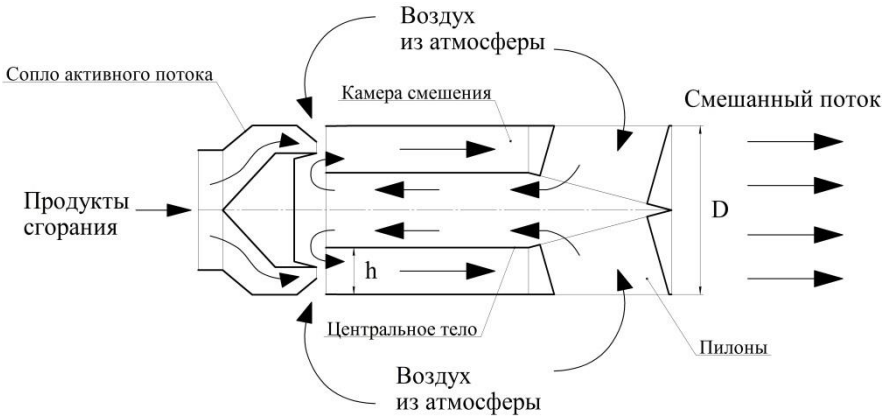


Рис. 1. Схема кольцевого газового эжектора

Дальнейшие исследования направлены на дополнительное снижение температуры выходящих газов до 393 К с применением впрыска воды во внутренний контур эжектора для насыщения пассивного потока воздуха, поступающего через пилоны, а также охлаждения стенок центрального тела.

На первом этапе исследования проводились на эжекторе без диффузора и с открытым внутренним контуром (см. рис. 2).

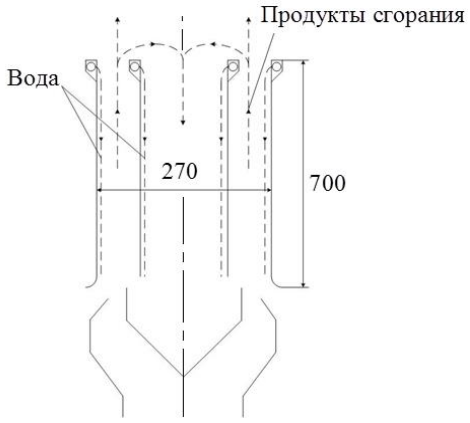


Рис. 2. Схема эжектора без диффузора

В данной схеме в основном потоке наблюдался отрыв струи воды от стенки и унос капель воды в потоке газа. При подаче воды во внутреннюю полость имело место насыщение воздуха за счет испарения воды, наличие капель при этом не наблюдалось. Снижение температуры газа за счет испарения воды составило ~20°С.

Последующие исследования проводились на эжекторе с диффузором и подводом воздуха во внутреннюю полость центрального тела через пилоны. Габаритные размеры эжектора составляли Lкс / Dкс = 1,85 (длина камеры смешения Lкс = 500 мм, диаметр камеры смешения Dкс = 270 мм).

Температура смеси на срезе эжектора $T_{ВЫХ}$ (см. рис. 3) измерялась по радиусу и удалению от пилонов. По радиусу замер проводился в 7 точках. В 2 четвертях замер температуры проводился по центральному радиусу четверти. В 2 четвертях замер проводился по 3 радиусам. Давление подачи воды для всех испытаний поддерживалось (2-3) кг/см^2. Соотношение расходов выходящих газов и воды составляло: $G_{ПС} / G_{ВОДЫ} \approx 0{,}3$.

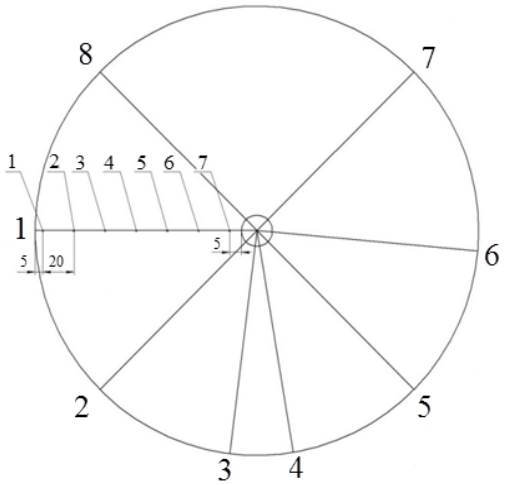


Рис. 3. Схема замера температуры на срезе эжектора

В результате исследований получена средняя температура газа на срезе эжектора 393 К.

Охлаждение водой происходит за счет двух факторов: теплообмена между водой и газом; испарения воды при насыщении ею смеси газа и эжектируемого воздуха.

Влияние отмеченных факторов в исследуемой схеме примерно одинаково.

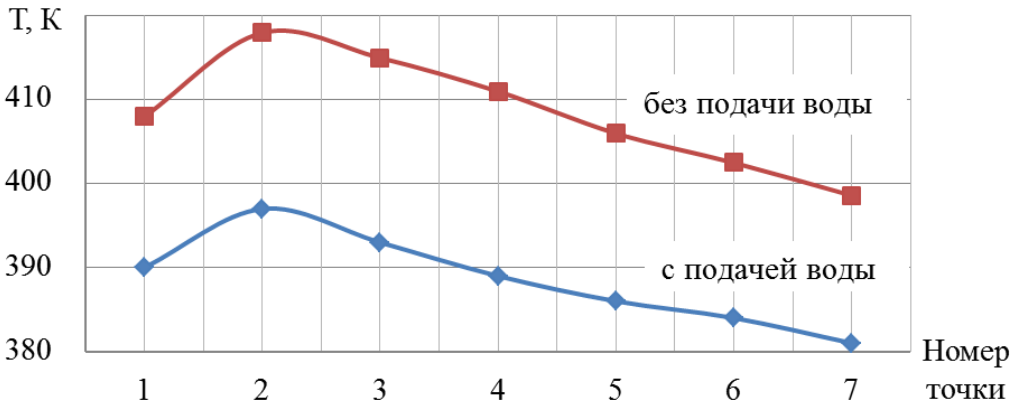


Рис. 4. Распределение температуры по радиусу на выходе эжектора

Дополнительный теплосъем за счет использования воды составил около 10%, что является существенным. Дальнейшая интенсификация теплообмена с водой приводит к ухудшению процесса эжекции и уменьшению расхода низконапорного газа (воздуха из окружающей среды), что связано с увеличением температуры газа на срезе эжектора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *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
2. *Халиулин, Р.Р.* Исследование способов увеличения мощности ГТД на базе эжектора / Р.Р. Халиулин // Будущее авиации и космонавтики за молодой Россией: Материалы Международного молодежного форума. – Рыбинск: РГАТУ имени П.А. Соловьева, 2018. – С. 93-100.
3. *Сыченков, В.А.* Исследование коаксиального газового эжектора / В.А. Сыченков, В.И. Панченко, Р.Р. Халиулин / Известия высших учебных заведений. Авиационная тех-ника. 2014. – № 2. – С. 24-28.
4. *Халиулин, Р.Р.* Исследование характеристик газового эжектора с оптимизированным начальным входным участком / Р.Р. Халиулин, В.А. Сыченков, В.И. Панченко // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. 2015. № 2 (33). С. 22-26.

RESEARCH OF THE ANNULAR GAS EJECTOR WITH WATER SUPPLY

Khaliulin R.[1], Semichev S. [2]

steel-toreto@mail.ru

Supervisor: V. Sychenkov[1], Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

(*[1]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan,*
[2]Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan)

The results of the research of the annular gas ejector with water supply to the internal circuit for increasing its efficiency are presented. Various schemes and methods of water supply are considered.

УДК 62-621.634

РАЗРАБОТКА КРЫЛЬЧАТКИ ВОЗДУШНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ

Хафизов И.Р., Габдулхакова Э.Х.

killd96@gmail.com

Научный руководитель: Р.Р. Салахов, канд. техн. наук

(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной работе представлены этапы разработки крыльчатки для воздушного нагнетателя, которая входит в состав данного агрегата. Воздушный нагнетатель используется для подачи воздуха в жаровую трубу теплообменного аппарата, для смешения с топливом и дальнейшего воспламенения.

1. Постановка задачи и определение исходных данных.

Разработка крыльчатки является одним из этапов разработки воздушного нагнетателя. Для определения требуемого напора и расхода воздуха было проведено экспериментальное исследование по определению газодинамической характеристики штатного воздушного нагнетателя и противодавления теплообменного аппарата в газовом контуре [6].

Согласно результатам экспериментальных исследований, требуется обеспечить расход воздуха равный 0,028 кг/с и напор - 1,65 кПа.

2. Численное моделирование крыльчатки.

Для верификации результатов численного моделирования крыльчатки в программном комплексе ANSYS, была создана цифровая модель экспериментального стенда. Модель стенда представлена на рисунке 1.

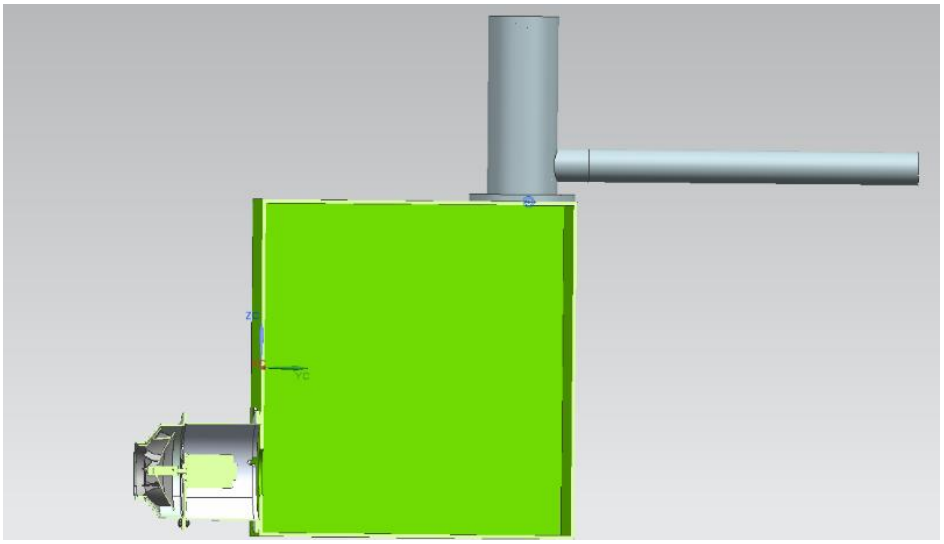


Рис. 1. Цифровая модель экспериментального стенда

Согласно предварительным расчетам в программе Siemens NX созданы несколько вариантов крыльчатки, которые затем были испытаны в программном комплексе ANSYS.

В препроцессоре CFX-PRE создан домен из импортированной 3D-модели стенда. Далее заданы значения оборотов крыльчатки, входные и выходные точки, а также плоскости съема давления. Результаты численного моделирования представлены на рисунках 2 и 3.

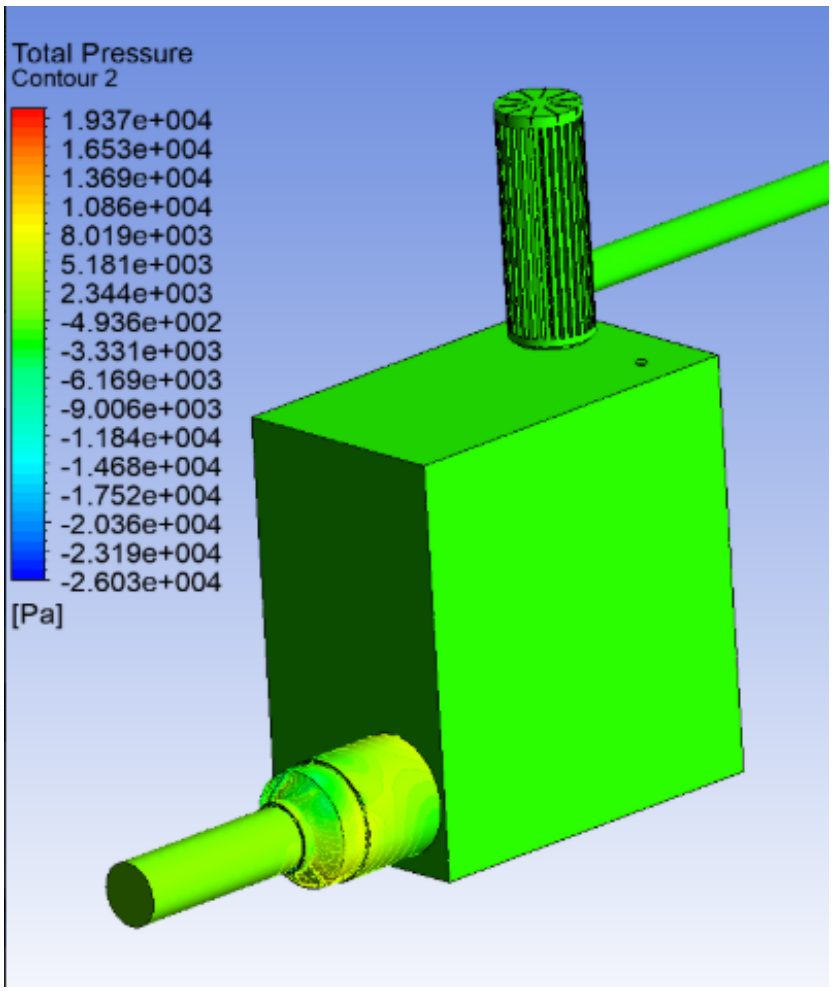


Рис. 2. Полученные значения полного давления

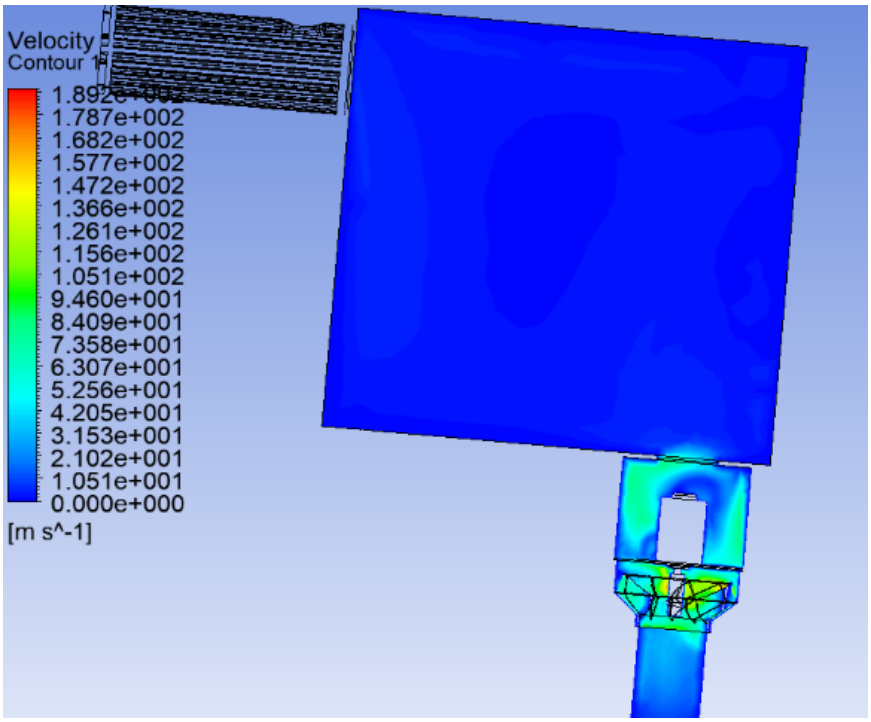


Рис. 3. Полученные значения скорости потока воздуха

Согласно результатам численного моделирования, выбрана наиболее удачная модель крыльчатки (Рис.4.).

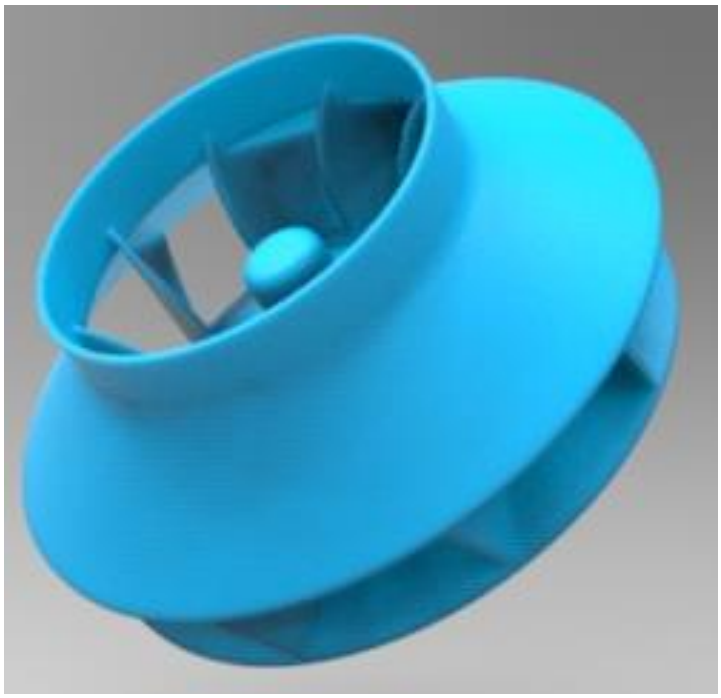


Рис. 4. Модернизированная крыльчатка

Готовая модель крыльчатки напечатана на 3D-принтере (Рис.5.)

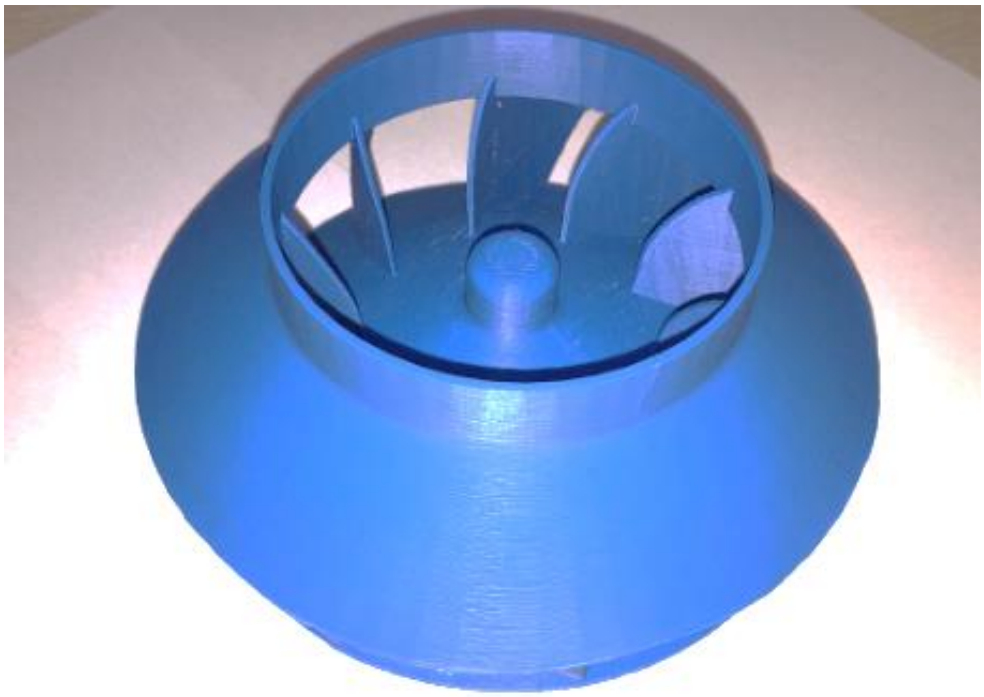


Рис. 5. Напечатанная на 3D-принтере крыльчатка

На следующем этапе разработки воздушного нагнетателя будут проведены экспериментальные исследования, в ходе которых будет испытана полученная крыльчатка, а также определены дальнейшая стратегия развития проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Черкасский В. М.* Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. 2-е изд., перераб. и доп.— Москва: Энергоатомиздат, 1984. - 416 с.

2. *В.Н.Косточкин.* Центробежные вентиляторы / В.Н.Косточкин – М.: Книга по Требованию, 2012. – 225 с.

3. *Хисматуллин Р.М., Березин В.В., Ахметшина Э.Р., Салахов Р.Р.* Проблема режима прогрева автомобильных двигателей при пуске. В сборнике: «Наука и инновации в xxi веке: актуальные вопросы, достижения и тенденции развития» Сборник статей победителей II Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Г.Ю. Гуляева. 2017. С. 38-40.

4. *Гуреев В.М., Салахов Р.Р., Фаляхов М.А., Кудусов Д.И., Бурлаков В.В.* Разработка, исследование и изготовление рабочих колес центробежного насоса. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2016. № 1. С. 64-70.

5. *Хафизов И.Р., Салахов И.Р., Баичев А.Л.* Разработка воздушного нагнетателя предпускового подогревателя двигателя внутреннего сгорания. В сборнике: XXIV «Туполевские чтения (школа молодых ученых)» Международная молодёжная научная конференция: Материалы конференции. Сборник докладов. 2019.

6. *Ing. Dr. techn. O. Bak.* Ventilatoren entwurf und berechung. Halle, 1961, - 364 с.

7. *A.J. Stepanoff Ph. D.* Turboblowers. Theory, Design, and Application of Centrifugal and Axial Flow Compressors and Fans. Перевод: И.И. Резник. – New York: Jonh Wiley & Sons, Inc, 1960 - 348 с.

DEVELOPMENT OF AIR IMPELLER

Khafizov I., Gabdulkhakova E.
killd96@gmail.com
Scientific adviser: R. Salakhov, Candidate of Technical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

This paper presents the stages of development of the air impeller, which is part of this unit. An air blower is used to supply air to the heat pipe of a heat exchanger, to mix it with fuel and further ignite it.

УДК 62-621.634

РАЗРАБОТКА ВОЗДУШНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ ПРЕДПУСКОВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Хафизов И.Р., Салахов И.Р., Баичев А.Л.
killd96@gmail.com
Научный руководитель: Р.Р. Салахов, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Предпусковой подогреватель двигателя внутреннего сгорания предназначен для предварительного прогрева двигателя, для последующего облегчения его пуска в холодное время года. Это устройство интегрируется в жидкостную систему охлаждения двигателя. В данной работе представлены этапы разработки воздушного нагнетателя, который входит в состав данного агрегата. Воздушный нагнетатель используется для подачи воздуха в жаровую трубу теплообменного аппарата, для смешения с топливом и дальнейшего воспламенения.

3. Определение газодинамической характеристики нагнетателя и сопротивления системы.

Для стабильной работы подогревателя требуется обеспечить необходимые расход и напор воздуха. В связи с чем проведено экспериментальное исследование по определению газодинамической характеристики штатного воздушного нагнетателя и противодавления теплообменного аппарата в газовом контуре. Исследование проводилось на специально изготовленном экспериментальном стенде (Рис.1).

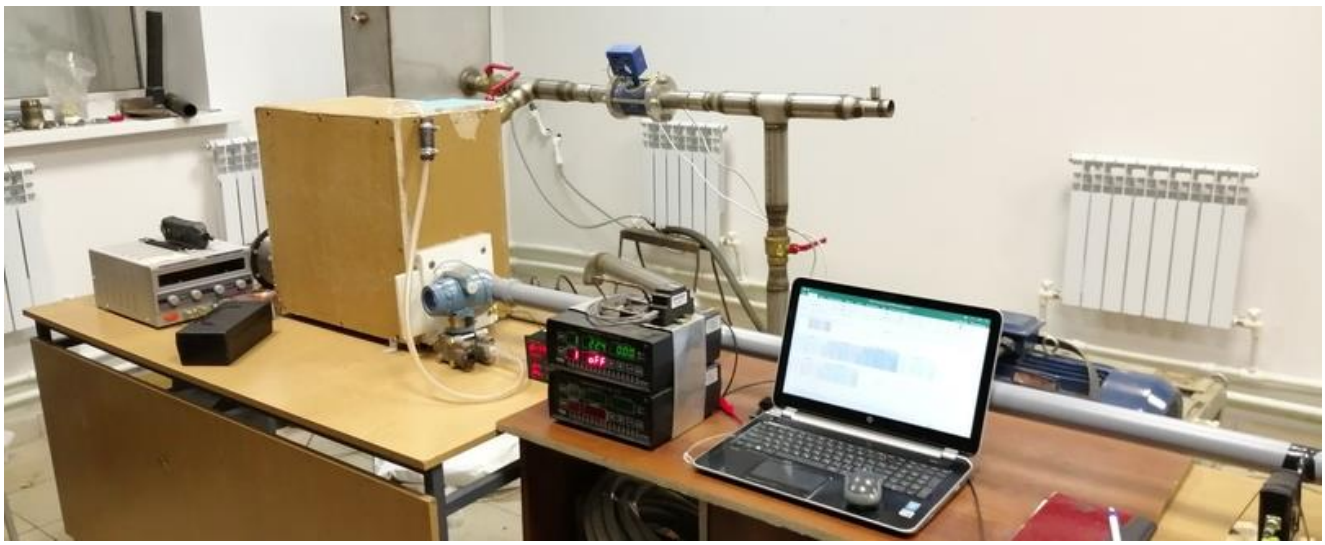


Рис. 1. Экспериментальный стенд для определения ГДХ нагнетателя и теплообменного аппарата

Схема стенда представлена на рисунке 2. На стенде последовательно установлены участок измерения скорости (расхода), испытуемый воздушный нагнетатель, ресивер с дифференциальным датчиком давления, поворотный клапан для изменения сопротивления.

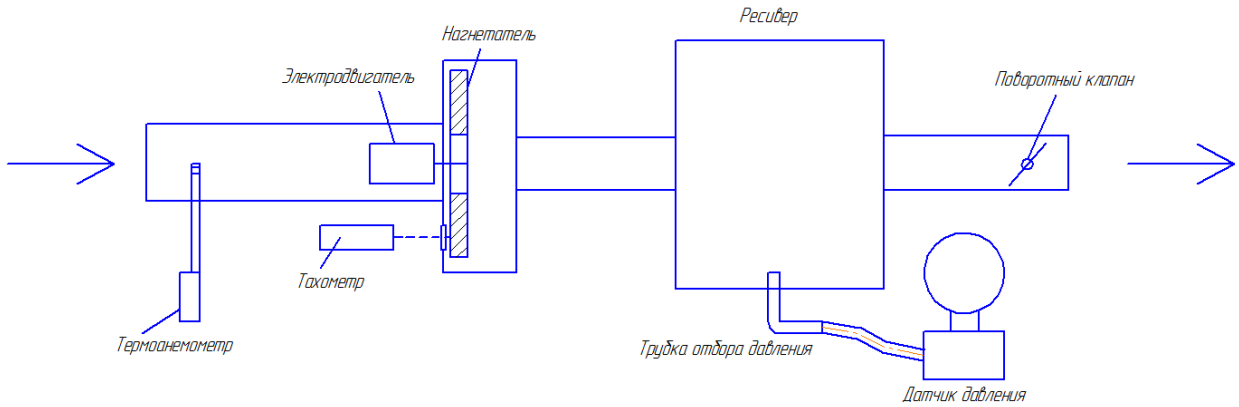


Рис. 2. Схема экспериментального стенда

Снимались значения давления и расхода воздуха при различной частоте вращения электродвигателя нагнетателя, с различным процентом перекрытия газового тракта с помощью дросселя. Для определения сопротивления теплообменного аппарата, дроссель был заменен на теплообменник. Значения так же снимались при различных оборотах крыльчатки нагнетателя.

Экспериментальные исследования проведены для 8-ми значений частоты вращения вала электродвигателя от 2000 до 9100 об/мин. Таким образом максимальные расход и напор при 9100 об/мин составили 0,028 кг/с и 1,65 кПа соответственно.

4. Разработка воздушного нагнетателя.

Опираясь на характеристики штатного был разработан модернизированный воздушный нагнетатель осевого типа. Компоновка модернизированного нагнетателя представлена на рисунке 2. Данная компоновка позволяет разместить электродвигатель внутри корпуса, что обеспечивает защиту от воздействий внешней среды, а также обеспечивает охлаждение во время работы потоком нагнетаемого воздуха.

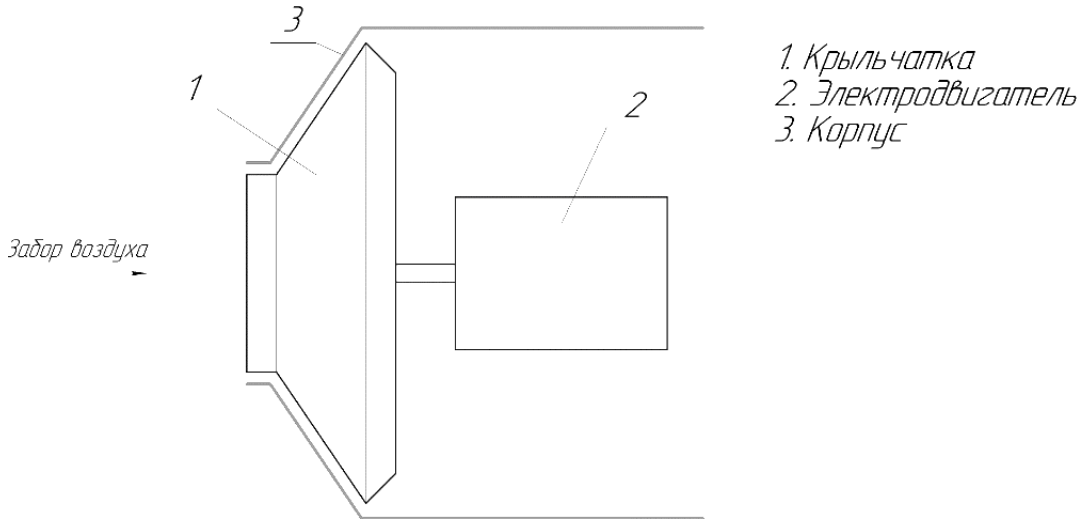


Рис. 2. Компоновка нагнетателя

В ходе разработки получена усовершенствованная крыльчатка (Рис.3.) и корпус нагнетателя (Рис.4).

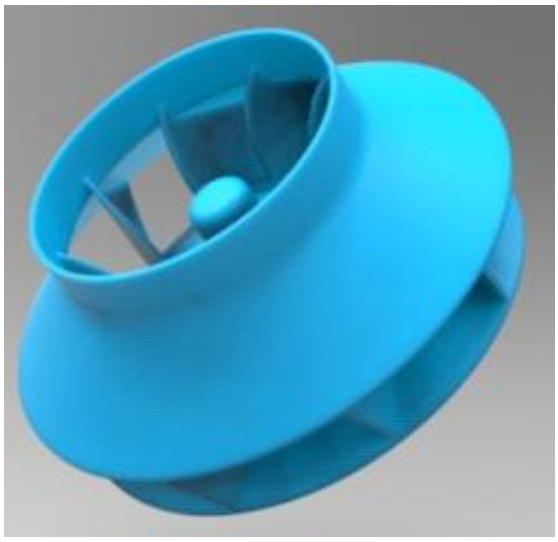


Рис. 3. Модернизированная крыльчатка

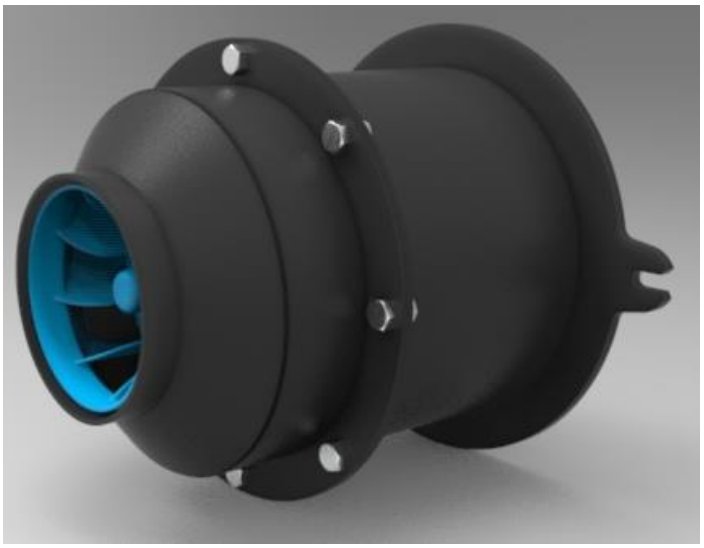


Рис. 4. Корпус нагнетателя

5. Экспериментальные исследования модернизированного нагнетателя.

Для подтверждения расчетных данных, а также сравнения модернизированного нагнетателя со штатным проведены экспериментальные исследования. Условия проведения исследований идентичны исследованиям в пункте 1 данной работы. Это необходимо для корректной оценки результатов и проведения сравнительного анализа.

Согласно результатам на максимальных оборотах крыльчатки (6500 об/мин) напор и расход составили: 800 Па и 0,026 кг/с соответственно. Таким образом модернизированный нагнетатель выдает сопоставимый расход воздуха при меньшем напоре. Однако новому нагнетателю требуется меньшая частота вращения крыльчатки 6500 против 9100 об/мин. Это означает, что снизится энергопотребление подогревателя, так как можно использовать мотор с меньшей мощностью.

Следующим этапом разработки воздушного нагнетателя являются испытания в составе предпускового подогревателя. В ходе которых планируется проверить работоспособность подогревателя с данным нагнетателем, выявить основные недостатки и определить дальнейшие планы по доработке нагнетателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

8. *Черкасский В. М.* Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. 2-е изд., перераб. и доп.— Москва: Энергоатомиздат, 1984. - 416 с.

9. *В.Н.Косточкин*. Центробежные вентиляторы / В.Н.Косточкин – М.: Книга по Требованию, 2012. – 225 с.

10. *Хисматуллин Р.М., Березин В.В., Ахметшина Э.Р., Салахов Р.Р.* Проблема режима прогрева автомобильных двигателей при пуске. В сборнике: «Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, достижения и тенденции развития» Сборник статей победителей II Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Г.Ю. Гуляева. 2017. С. 38-40.

11. *Гуреев В.М., Салахов Р.Р., Фаляхов М.А., Кудусов Д.И., Бурлаков В.В*. Разработка, исследование и изготовление рабочих колес центробежного насоса. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2016. № 1. С. 64-70.

12. *Салахов Р.Р., Хисматуллин Р.М., Гуреев В.М.* Компьютерное моделирование режима прогрева создаваемого двигателя внутреннего сгорания в программной среде LMS Amesim. Автоматизация и управление в машиностроении. 2016. № 2 (24). С. 45-47.

13. *Ing. Dr. techn. O. Bak.* Ventilatoren entwurf und berechung. Halle, 1961, - 364 с.

14. *A.J. Stepanoff Ph. D.* Turboblowers. Theory, Design, and Application of Centrifugal and

Axial Flow Compressors and Fans. Перевод: И.И. Резник. – New York: Jonh Wiley & Sons, Inc, 1960 - 348 с.

DEVELOPMENT OF AIR BLOWER FOR INTERNALCOMBUSTION ENGINE HEATER

Khafizov I., Salakhov I., Baichev A.
killd96@gmail.com
Supervisor: R. Salakhov, Candidate of Technical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

This paper presents the stages of development of the air compressor, which is part of this unit. An air blower is used to supply air to the heat pipe of a heat exchanger, to mix it with fuel and further ignite it.

УДК 62-712.3

ОПТИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИИ ОХЛАЖДЕНИЯ ГИДРОБЛОКА ГИДРОСИСТЕМЫ ЛЕГКОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО ВЕРТОЛЁТА

Шакиров В.И.
sh.vil@yandex.ru
Научный руководитель: Г.В. Пискунов
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В работе рассматривается возможность оптимизации функции охлаждениягидроблока гидросистемы лёгкого многоцелевого вертолёта. Это необходимо для предотвращения перегрева рабочей жидкости в системе.

Гидравлическая система (ГС) вертолёта предназначена для питания рулевых приводов, установленных на вертолёте. В целях обеспечения безопасности полёта на ЛА устанавливаются две независимые ГС. Каждая из ГС имеет свои агрегаты, трубопроводы, гибкие металлофторопластовые рукава. Общими для обеих ГСявляются только рулевые приводы. Онивыполняются двухкамерными, при этом у каждой ГС своя рабочая камера.

Существуют ГС открытого, закрытого и полузакрытого типа. В системе открытого типа бак с рабочей жидкостью сообщается с атмосферным воздухом, а закрытой системе рабочая жидкость изолирована от окружающей воздушной среды. В ГС полузакрытого типа объём над жидкостью в гидробаке заполнен нейтральным газом.

ГС закрытого типа имеет ряд преимуществ:

1) малая масса по сравнению с ГС открытого типа.

2) меньшее количество растворённого газа и загрязнений в рабочей жидкости, попадающих из атмосферы.

Уменьшение массы ГС достигается путём совмещения гидробака, фильтра слива, фильтра нагнетания и датчиков в т.н. гидроблок (рисунок 1). Также в такой ГС уменьшается количество рабочей жидкости.

В отечественных вертолётах применяются только ГС открытого типа. Это объясняется простотой конструкции такой системы, наличием больших некомпенсированных объёмов жидкости и простотой обеспечения наддува гидробака воздухом.

Одной из проблем ГС является её перегрев в процессе работы при висениивертолёта. В случае ГС закрытого типа эта проблема усугубляется из-за уменьшения количества рабочей жидкости: увеличивается частота циркуляции жидкости в системе. Для увеличения эффективной площади охлаждения на корпусе гидробака предусмотреноребрение.Однако ребра на корпусе эффективны только при их постоянном обдуве потоком воздуха.

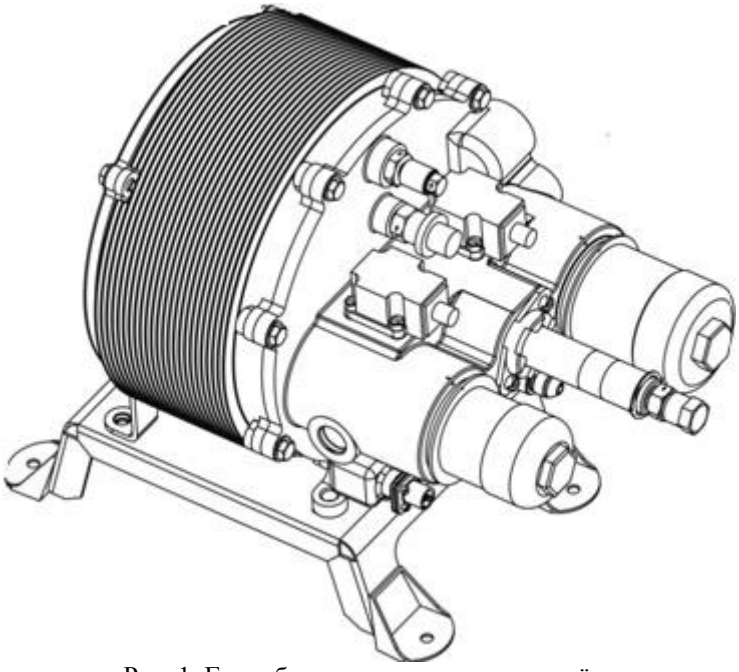
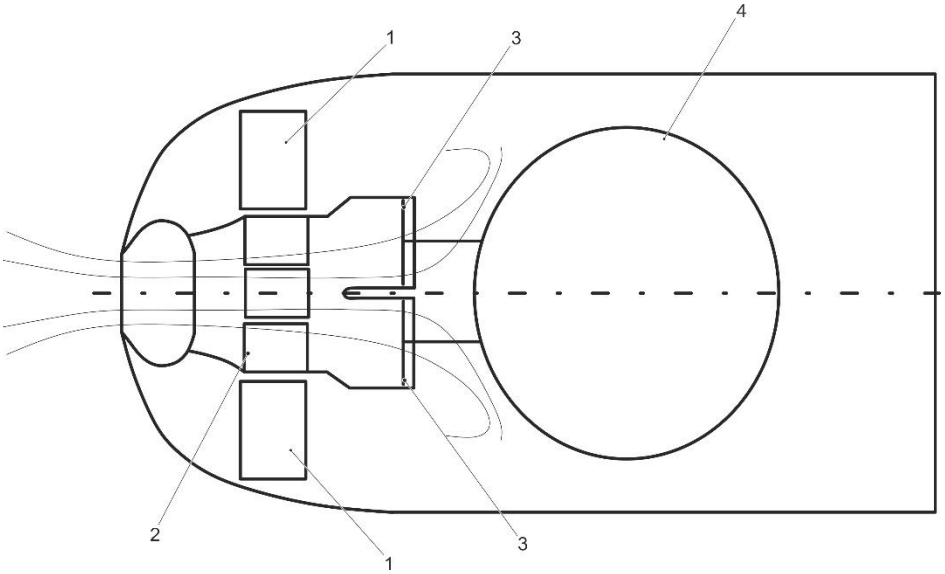


Рис. 1. Гидроблок гидросистемы вертолёта

В качестве теплоносителя используется атмосферный воздух, нагнетаемый вентиляторами. Существенно превышая все другие теплоносители по доступности, распространённости и дешевизне, воздух заметно уступает жидкостным теплоносителям, например воде, по интенсивности теплосъёма с поверхности [1]. Однако воздушная система охлаждения из-за относительной простоты и дешевизны осуществления нашла широкое применение на дозвуковых ЛА.

Также в авиации для охлаждения лопаток газотурбинных установок широко применяется струйный обдув. Струйный обдув обеспечивает при оптимальных условиях возрастание интенсивности теплообмена в 3-5 раз по сравнению с продольным обтеканием[1]. Из-за разбросанности информации по многочисленным периодическим изданиям и тематическим сборникам узко технологической направленности, из-за определённой односторонности и противоречивости сведений по этой теме, существенно затрудняется разработка такой системы. Поэтому струйный метод охлаждения не рассматривается в рамках данной работы.

На рисунке 2 представлен пример компоновки агрегатов вертолёта в подкапотном пространстве.

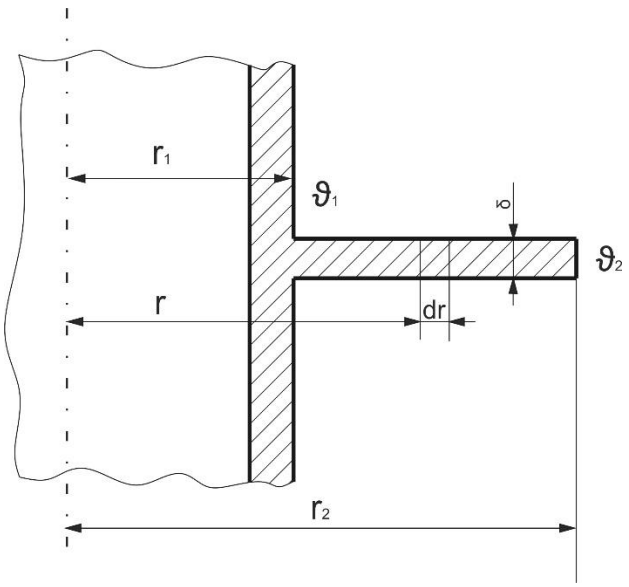


1-гидроблок, 2- блок воздушно-масляных радиаторов, 3- осевой вентилятор, 4- редуктор.
Рис. 2. Компоновка агрегатов №1

В этом случае гидроблоки слабо обдуваются воздушным потоком, всасываемым вентиляторами из окружающей среды. Вентиляторыпредназначенные для продувки воздушно-масляных радиаторов системы смазки двигателей и главного редуктора.

Для обеспечения обдува гидроблока ГС можно установить дополнительные вентиляторные установки.При этом необходимо установить дополнительную перегородку, чтобы не допустить перетекание горячего воздуха из зоны редукторного отсека в зону гидроблока.

Как уже говорилось ранее, на корпусе гидроблока предусмотрено ребрение для увеличения эффективной площади охлаждения (рисунок 3).



r- радиус элемента dr, r_1 - внутренний радиус ребра,r_2 - внешний радиус ребра,dr- малый элемент ребра, δ- толщина ребра, ϑ_1- температура у основания ребра, ϑ_2- температура на конце ребра

Рис. 3. Теплоотдача через круглое ребро постоянной толщины

Формулы для расчёта теплоотдачи круглого ребра громоздки и мало удобны для технических расчётов. Поэтому для круглых ребёр постоянного сечения, а также для различных прямых рёбер переменного сечения расчёт можно свести к расчёту прямых рёбер постоянного сечения [2].Задан коэффициент теплоотдачи *a,* постоянный по всей длине ребра. Количество тепла, отдаваемое поверхностью круглого ребра:

$$Q' = \varepsilon' F' q, \text{ Вт}$$

где F'- площадь поверхности круглого ребра;

$q = Q/F$- количество тепла, отдаваемого в единицу времени единицей поверхности прямого ребра, толщина которого равна толщине круглого, а длина равна 1 м;

$\varepsilon' = f(\frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}, \frac{r_2}{r_1})$- поправочный коэффициент, определяемый по кривым на рисунке 4.

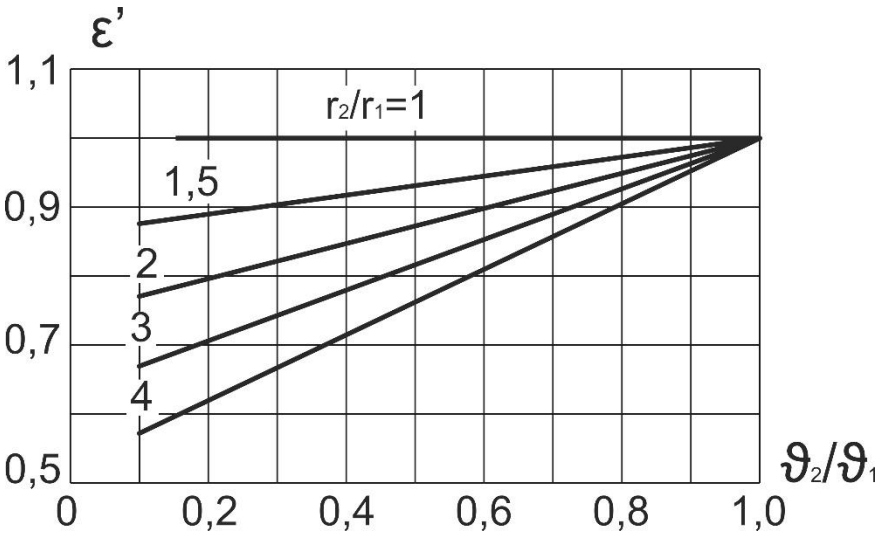


Рис. 4. Вспомогательный график для расчёта круглых рёбер постоянной толщины

Таким образом, в работе были рассмотрены способы оптимизации функции охлаждения гидроблока гидросистемы лёгкого многоцелевого вертолёта, приведена методика расчёта теплоотдачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Дыбан Е.П., Мазур А.И.* Конвективный теплообмен при струйном обтекании тел //Киев: Наук.думка, 1982. – 303 с.

2. *Белозерцев В.Н.* Интенсификация теплообмена // Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 208 с.

OPTIMIZATION OF THE HYDRAULIC UIT COOLING FUNCTION OF THE LIGHT MULTIPURPOSE HELICOPTER

Shakirov V.

sh.vil@yandex.ru

Supervisor: G. Piscunov

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

The paper considers the possibility of optimizing the cooling function of the hydraulic unit of a light multipurpose helicopter. This is necessary to prevent overheating of the working fluid in the hydraulic system.

УДК 621.92:004.032

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ТЕПЛООБМЕНА В ВИДЕ КОЛЬЦЕВЫХ ВЫСТУПОВ

Шакиров Р.А.

shakirov.aiv@yandex.ru

Научный руководитель: К.Х. Гильфанов, д-р техн. наук, профессор

(Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

Представлены промежуточные результаты по разработке искусственной нейронной сети, которая позволит оптимизировать теплообменные поверхности при различных рабочих условиях. Разработана база экспериментальных данных для различных форм поверхностных интенсификаторов, которая включает более 10 источников. Произведено нейросетевого моделирования средней теплоотдачи в каналах теплообменного оборудования с интенсификацией в виде кольцевых, сферических выступов и выемок, цилиндрических выемок и интенсификаторов асимметрической формы. Представлены этапы разработки и результаты нейросетевого моделирования для кольцевых выступов.

Введение

Эффективность современных теплообменных устройств, напрямую связано с применением различных методов интенсификации теплоотдачи. Положительный практический эффект, показали поверхностные интенсификаторы в виде кольцевых и сферических выступов. Подобные методы интенсификации теплоотдачи, при конвективном теплообмене, значительно снижают термическое сопротивление пристенных слоев вблизи теплообменной поверхности, что способствует повышению коэффициента теплоотдачи [1]. Физические принципы данного способа интенсификации и его положительный эффект, известны уже длительное время. Однако расчет и проектирование интенсифицированных теплообменников с оптимальными характеристиками затрудняется проблемой обобщения результатов исследований. Анализ исследований по данной тематике показал, что обобщить характеристики поверхностных интенсификаторов теплообмена общепринятыми уравнениями сохранения не удается, из-за сложности тепловых и гидромеханических процессов, а также многочисленностью конструктивных параметров интенсификаторов. Если и удается обобщить результаты исследований в виде эмпирических формул зависимости чисел Нуссельта от чисел Рейнольдса и Прандтля с привлечением определяющих размеров, то, как правило, для узкого класса одиночных лунок или систем лунок в диапазоне параметров проведенных экспериментов.

Определенное решение данной проблемы предлагают системы искусственного интеллекта, способные к обучению и самообучению. Такими являются искусственные нейронные сети (ИНС). Данные технологии позволяет обобщить результаты экспериментов сложных многопараметрических процессов и работать с данными выходящими за пределы диапазонов параметров, в которых были проведены опыты. Нейросетевая модель представляет собой «обученное» программное обеспечение, которое способно прогнозировать оптимальные параметры теплообменной поверхности.

Работу нейронной сети можно разделить на два этапа: обучение сети «правильному» или адекватному реагированию на входную информацию (входной вектор) и использование обученной сети для распознавания входных векторов. Последний этап также называют тестированием. Другими словами, сеть учится распознаванию входных векторов, т.е. формированию выходных векторов, соответствующих распознанному классу входных векторов.

В технической литературе имеется база данных по интенсификации теплообмена, которая оценивается в более чем 9000 технических статей, докладов, отчетов и публикаций в периодических изданиях и библиографических отчетах А. Е. Берглса и др., М. К. Дженсена и Б. Шоума, обзорах Р. Уебба, Д. П. Шатто и Дж. П. Питерсона, А. Е. Берглса, Р. М. Манглика, монографиях Дж. Р. Тоума, Р. Уебба, Р. М. Манглика и А. Д. Крауса, С. Какача, К.Х Прессера и др.

Нейросетевое моделирование

Искусственная нейронная сеть реализована при помощи нейропакета «NeuroSolutions». С помощью мастера нейросетевых архитектур («Neural Wizard»), задается архитектура, подбирается обучающая выборка, критерии обучения.

Принципы оптимальности сформулированы следующим образом: для каждого входного нейрона изменение входных переменных в диапазоне истинных уровней должно оказывать примерно одинаковое изменение выходного сигнала нейрона и уровень смещения для каждого нейрона должен быть установлен так, чтобы обеспечить в среднем по обучающей выборке (задачнику) максимальное значение производной для функции активации.

Далее представлены этапы и результаты нейросетевого моделирования интенсификации теплоотдачи для кольцевых выступов. Разработка искусственной нейронной сети и её обучение произведено на базе экспериментального материалf по теплоотдаче поверхностей с кольцевыми выступами в виде зависимости относительных чисел Нуссельта Nu от чисел Рейнольдса Re [1-4]. В таблице 1 представлены относительные геометрические параметры исследуемых каналов и кольцевых выступов.

Таблица 1

Геометрические параметры исследуемых каналов и кольцевых выступов

h, м	D, м	L, м	t, м	t/h	d	t/D	d/D
0,0001	0,01	1	0,0025	22,727	0,00978	0,250	0,978
0,0005	0,01	1	0,0025	5,000	0,00900	0,250	0,9
0,0006	0,01	1	0,0025	4,167	0,00880	0,250	0,88
0,0005	0,01	1	0,005	10,000	0,00900	0,500	0,9
0,001	0,01	1	0,005	5,000	0,00800	0,500	0,8
0,001	0,0076	1	0,004	4,000	0,00560	0,526	0,7368
0,0002	0,01	0,76	0,01	66,667	0,00970	1,000	0,97
0,0005	0,01	1	0,01	22,222	0,00910	1,000	0,91
0,0005	0,01	1	0,01	20,000	0,00900	1,000	0,9
0,0007	0,01	1	0,01	14,286	0,00860	1,000	0,86
0,001	0,01	1	0,01	10,000	0,00800	1,000	0,8
0,001	0,0076	0,76	0,0075	7,500	0,00560	0,987	0,7368
0,00017	0,01	1	0,005	29,176	0,00983	0,496	0,983
0,00034	0,01	1	0,005	14,647	0,00966	0,498	0,966
0,00057	0,01	1	0,005	8,719	0,00943	0,497	0,943
0,00078	0,01	1	0,0052	6,705	0,00922	0,523	0,922
0,00125	0,01	1	0,005	3,968	0,00875	0,496	0,875
0,00088	0,01	1	0,0099	11,273	0,00912	0,992	0,912
0,00054	0,01	1	0,01	18,481	0,00946	0,998	0,946
0,00056	0,01	1	0,0199	35,482	0,00944	1,987	0,944
0,00058	0,01	1	0,0399	68,776	0,00942	3,989	0,942
0,00033	0,01	1	0,0094	28,606	0,00967	0,944	0,967

В таблице 1: h – высота выступов; D – внутренний диаметр трубы; L – длина трубы; t - расстояние между диафрагмами (выступами); d – диаметр отверстия диафрагм (по вершине выступов).

Исследования по теплоотдаче проведенные в работах [1,2] позволили составить выборку данных для обучения искусственной нейронной сети, представленную в таблице 2, где Nu_0 – число Нуссельта для гладкой поверхности при том же числе Рейнольдса.

В соответствии с таблицами 1 и 2 составляется матрица, которая воспринимается нейропакетом «NeuroSolutions». Далее производится настройка параметров искусственной нейронной сети, указываются входные и выходные данные ИНС.

Следующим этапом нейросетевого моделирования является обучение искусственной нейронной сети (рисунок 1). В процессе обучения можно наблюдать уменьшение ошибки, которое зависит от количества уроков. Это можно наглядно увидеть на рисунке 2, где представлены тренды показывающие, какие значения выдает сеть в процессе обучения, и какие там были значения на самом деле. Таким образом, по данным графикам видно, что с увеличением количества уроков результаты работы сети на основе обучающих данных практически совпадают с действительными значениями выборки. Это позволяет сделать

вывод, что обучение сети прошло успешно, и можно приступать к тестированию сети.

Таблица 2

Выборка данных для обучения

№	Re_D	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^2$	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^2$	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^2$	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^2$	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^2$	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^2$	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^2$	$\frac{Nu}{Nu_0}$
1	650	1,02	10	1,10	15	1,03	20	1,06	25	1,18	30	1,15	35	1,12	40	1,05
2		1,08		1,14		1,27		2,10		3,20		3,00		2,51		2,28
3		1,09		1,21		1,23		4,00		2,83		2,68		2,30		2,10
4		-		-		0,96		1,07		1,34		1,19		-		1,11
5		-		-		0,94		1,00		1,34		1,19		-		1,10
6		-		-		1,00		1,07		1,40		1,34		-		1,34
7		-		-		1,03		1,00		1,50		1,88		-		2,00
8		1,00		1,01		1,10		3,10		2,27		2,26		2,16		1,95
9		-		-		1,00		2,88		3,52		2,93		-		2,60
10		1,27		1,21		2,70		6,70		4,73		4,7		4,22		3,64
11		1,02		2,61		4,30		11,2		7,25		6,88		6,5		5,60
12		1,34		1,06		1,07		1,30		1,75		1,67		1,53		1,44
13		-		-		1,00		1,00		0,93		1,00		-		1,01
14		-		-		0,96		0,84		1,47		1,47		-		1,43
15		-		-		0,94		1,41		2,06		2,05		-		1,99
16		1,10		1,02		1,06		1,91		2,76		2,69		2,51		2,50
17		1,12		1,12		1,07		2,92		2,58		3,02		2,73		2,55
18		1,14		1,10		1,23		5,84		4,20		3,87		3,4		3,16
19		1,10		1,81		3,55		7,80		5,26		5,11		4,58		3,78
20		1,08		3,80		7,2		14,2		8,23		8,41		8,92		7,01

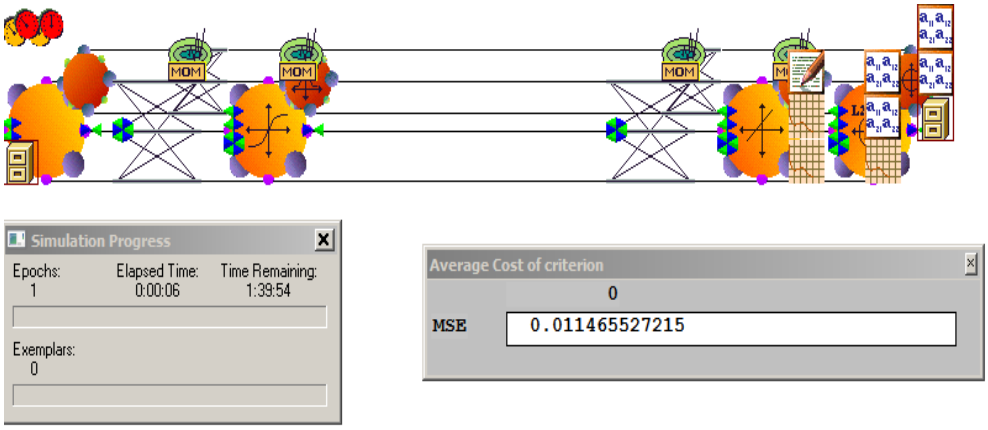


Рисунок 1. Структура ИНС и обучение нейронной сети

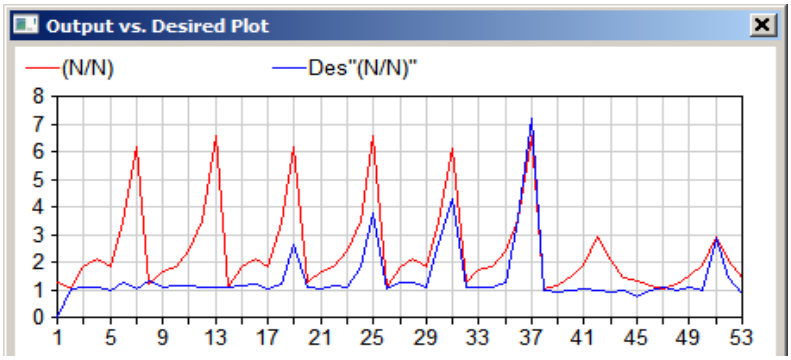


Рис. 2. Скриншоты графиков прогнозируемых и действительных значений сети

В качестве тестовой матрицы используем матрицу с «неизвестными данными», которые также отобраны из [1-4], но не вошли в массив «учителя». Необходимо смоделировать (спрогнозировать) выходные данные величины (Nu/Nu0)Re, приведенные в таблице 2.

Таблица 2

Выборка данных для тестирования

ReD	Nu/Nu_0	ReD	Nu/Nu_0	ReD	Nu/Nu_0	ReD	Nu/Nu_0
20000	1,32	25100	1,33	31600	1,34	50000	1,65
20000	1,20	25100	1,18	31600	1,16	50000	2,17
20000	1,23	25100	1,27	31600	1,26	50000	2,27
25100	1,29	31600	1,31	39800	1,35	50000	2,30
25100	1,61	31600	1,63	39800	1,64	50000	1,53
25100	2,17	31600	2,17	39800	2,17	50000	1,39
25100	2,27	31600	2,27	39800	2,27	50000	1,31
25100	2,30	31600	2,30	39800	2,30	50000	1,12
25100	1,70	31600	1,65	39800	1,59	50000	1,19
25100	1,63	31600	1,58	39800	1,55	63000	1,37

После тестирования, обученная сеть представляет, с какой точностью спрогнозированы данные. Это можно наблюдать на рисунке 3, где представлены действительные значения (Des) и значения, спрогнозированные нашей сетью (Out).

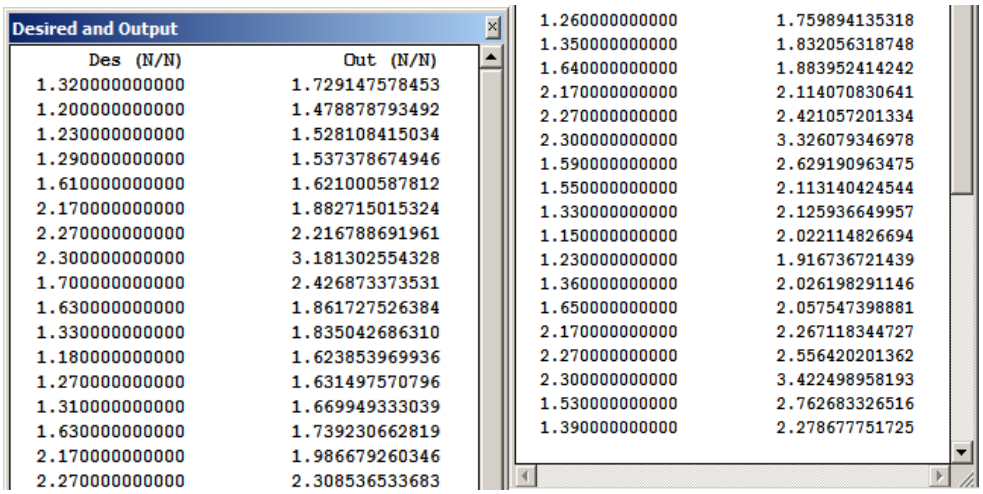


Рис. 3. Скриншоты действительных значений экспериментальной матрицы и результаты тестирования сети

Среднеквадратическая погрешность нейросетевой аппроксимации, которую выдает программа, составляет порядка 1,146 %.

Выводы

Таким образом, представлена возможность построения искусственных нейронных сетей для моделирования поверхностных интенсификаторов теплообмена в виде сферических выемок. Тестирование нейросети показало погрешность моделирования 1,15 %, что можно считать удовлетворительной, учитывая разброс в выборке данных, связанных с погрешностью базовых экспериментальных данных (5-15) %. Также следует констатировать, что для практического использования результатов моделирования необходимо расширить спектр данных по поверхностным интенсификаторам теплообмена. На сегодняшний день, аналогичным образом разработаны нейросетевые модели для основных геометрических форм интенсификаторов теплообмена, результаты которых представлены в [5]. Нейросетевая модель может быть использована для оптимизации теплообменных поверхностей при различных рабочих условиях. Показана хорошая эффективность

моделирования с помощью модулей пакета «NeuroSolutions».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Shchelchkov A.V.* Intensification of vortex streams in the flow around thick lifting surfaces and due to creation of oval dimpled reliefs: 7th International Conference on Vortex Flows and Vortex Models. Rostock: ICVFM, 2016;

2. *Калинин Э. К.* Эффективные поверхности теплообмена // М.: Энергоатомиздат, 1998 С. 401–407;

3. *Попов И.А.* Теплогидравлические характеристики дискретно-шероховатых труб на переходных режимах течения [Текст] / И.А. Попов, А.В. Щелчков, М.З. Яркаев // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2013. – № 1. – С.61-65.

4. *Isaev S.A.* Numerical simulation of the turbulent air flow in the narrow channel with a heated wall and a spherical dimple placed it for vortex heat transfer enhancement depending on the dimple depth [Текст] / Isaev S.A., Schelchkov A.V., Leontiev A.I., Baranov P.A., and Gulcova M.E. // Int. J. Heat and Mass Transfer. – 2016. Vol. 94. Pp. 426-448;

5.*Гильфанов К.Х., Шакиров Р.А., Гайнуллин Р.Н.* Нейросетевое моделирование дискретно-шероховатых поверхностей теплообмена в виде лунок / Вестник технологического университета. 2018, т.21, в.12, с.102-105.

NEURAL NETWORK MODELING OF SURFACE HEAT-EXCHANGE INTENSIFIERS IN THE FORM OF THE ANNULAR PROTRUSIONS

Shakirov R.

shakirov.aiv@yandex.ru

Supervisor: K. Gilfanov, Doctor of Engineering Sciences, Professor

(Kazan State Power Engineering University, Kazan)

Intermediate results on the development of an artificial neural network, which will optimize the heat exchange surface under different operating conditions, are presented. A database of experimental data for various forms of surface intensifiers, which includes more than 10 sources, has been developed. The neural network modeling of the average heat transfer in the channels of heat exchange equipment with intensification in the form of ring, spherical projections and recesses, cylindrical recesses and intensifiers of asymmetric shape was carried out. The stages of development and results of neural network modeling for annular protrusions presented.

УДК 621.43.056.536.46

МАЛОЭМИССИОННАЯ КАМЕРА СГОРАНИЯ

Юсеф В.М., Давыдов Н.В., Ли Цзывань

wyasen@mail.ru

Научный руководитель: В.А. Сыченков, канд. техн. наук, доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В статье приводятся результаты расчета 3D численные моделирования в программном комплексе ANSYSFluent, для снижения эмиссии (CO, NO_x) в камерах сгорания (КС).

Основной проблемой при создании КС является необходимость обеспечения одновременного уменьшения выбросов NO_x и CO, что связано с выполнением противоречивых требований по поддержанию в зоне горения оптимальной температуры на разных режимах. Обычно с целью преодоления данной проблемы камеры сгорания выполняются сложной конструкции сраздельными зонами горения.

В настоящей работе исследовалась КС с модульным фронтовым устройством, на первом этапе провели расчеты по имеющимся методикам расчета КС [1,2] для определения геометрии КС и распределения коэффициента избытка воздуха (α) по длине жаровой трубы (ЖТ). На основе проведенных расчетов спроектировано и изготовлено горелочное устройство рис.1.

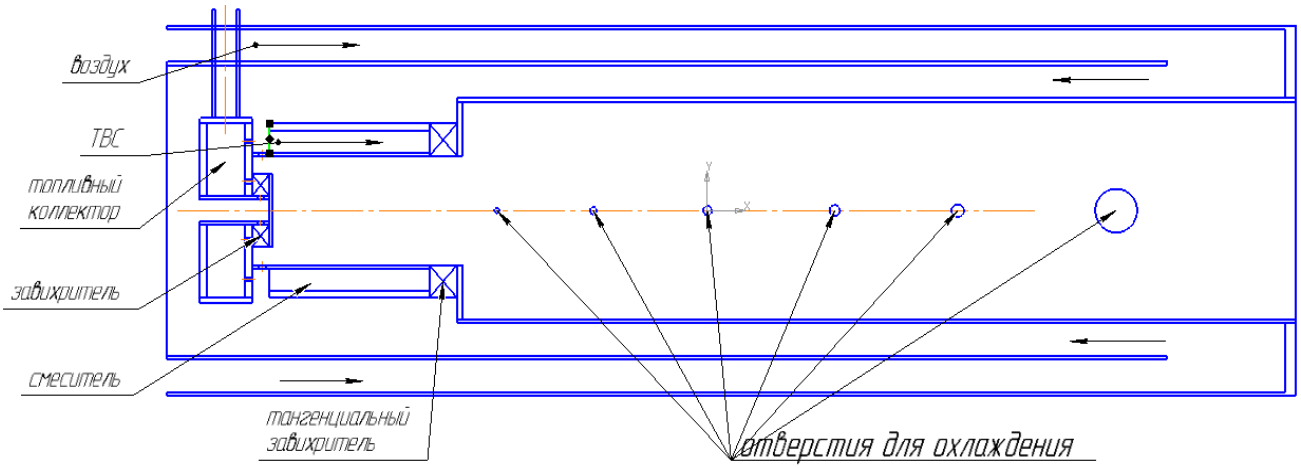
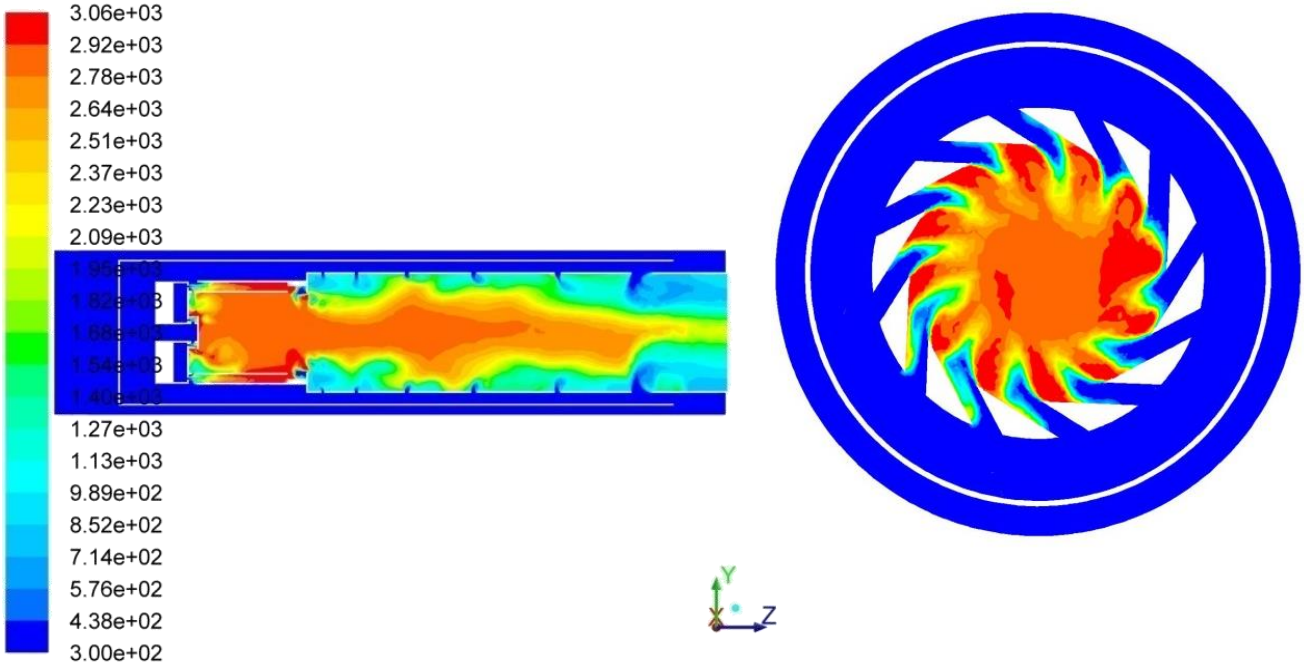


Рис. 1. Схема модуля камеры сгорания

На рис.1 представлена схема модуля, которая состоит из предкамеры с эжекторным подводом газообразного топлива, в результате чего на выходе из эжектора образуется хорошо перемешанная смесь. Горючая смесь поступает в предкамеру, представляющую собой цилиндр с отверстиями для подвода воздуха. В предкамере происходит горение богатой смеси с минимальным выбросом NO_x и максимальной CO при дальнейшем движении смеси в жаровой трубе происходит втекание вторичного воздуха из отверстий и дожигание CO. В результате организуется процесс горения по схеме «богато – хорошо перемешанное – бедное» RQL-схеме. Такая схема позволяет минимизировать выделение CO и NO_x при сохранении устойчивости горения.

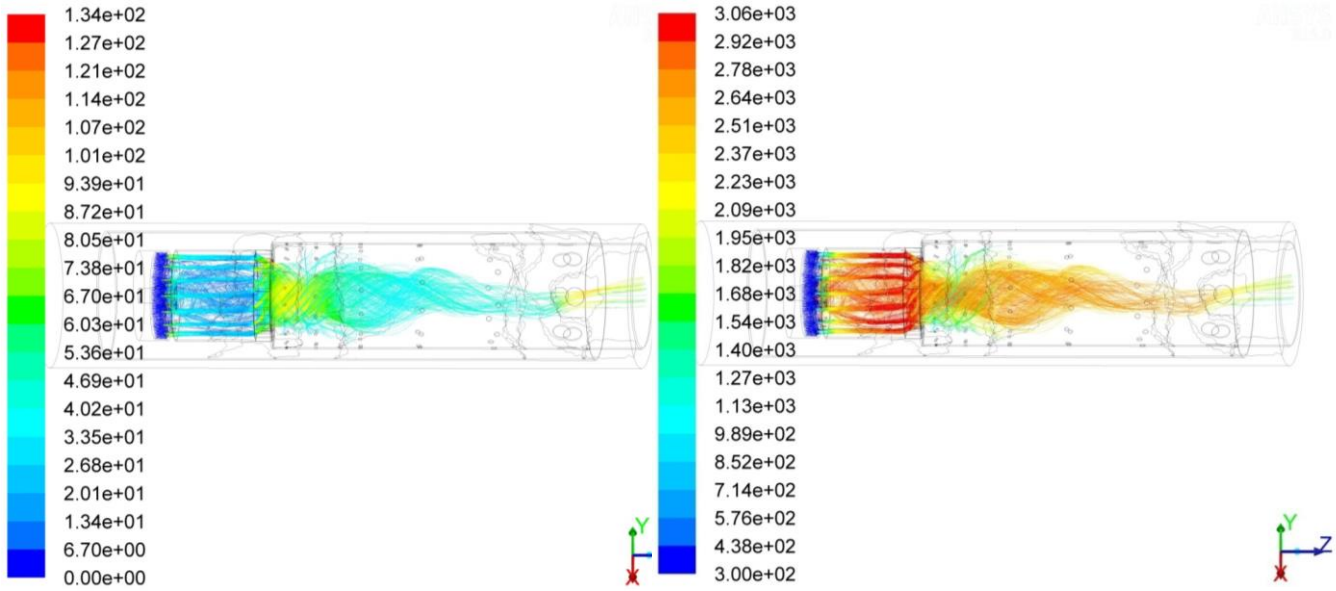
Для доводки КС, определения характеристик горения, оптимизации КС и определения структуру течения применялось 3D моделирование процессов в ПО ANSYS Fluent.

В результате расчета получено распределение температуры в сечении, проходящем через ось завихрителя (рис.2, 3, 4). Как видно основной процесс горения при α_{Σ}=4 начинается в первичной зоне и продолжается за первым поясом основных отверстий.



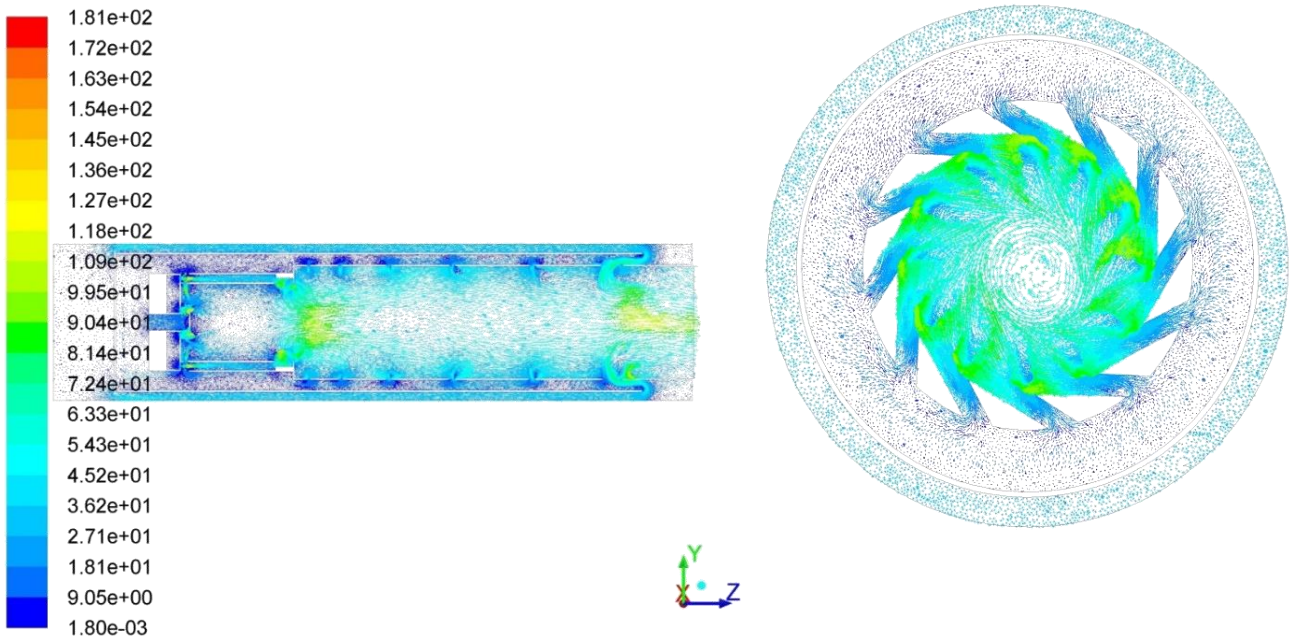
а) б)

Рис. 2. Поля температур внутри КС в разных сечениях, α_{Σ}=4.
а) между отверстиями жаровой трубы, б) по отверстиям жаровой трубы



а) б)

Рис. 3. Линии тока с цветовой индексацией а) по скорости, б) по температуре потока



а) б)

Рис. 4. Векторная картина течения в КС в разных сечениях по оси форсунки.
а) между отверстиями жаровой трубы, б) по отверстиям жаровой трубы

Горение происходит во всем объеме пилотной зоны и далее продолжается в перфорированной части жаровой трубы с постепенным снижением температуры до последнего пояса отверстии (рис.2,а), данные (рис. 2,б) показывает что смесь выходящая из тангенциального завихрителя является горючей и горение начинается сразу на выходе из лопаток.

Анализ расчетных характеристик камеры сгорания показал, что основное горение протекает в модулях фронтового устройства (на рисунках показан только один модуль) с дальнейшим снижением CO в зоне дожигания жаровой трубы, что позволяет снизить эмиссию CO до 59 мг/нм^{3}при относительно низких концентрациях NO_x≈18мг/нм^3 и высоких значениях полноты сгорания η.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мингазов Б.Г.* Камеры сгорания газотурбинных двигателей. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. университета, 2004. 220 с.
2. *Лефевр А.* Процессы в камерах сгорания ГТД / Пер. с англ. М: Мир, 1986, 566 с
3. *Христич В.А., Тумановский А.Г.* Газотурбинные двигатели и защита окружающей среды. Киев: Техніка,1983. – 144с.

A LOW-EMISSION COMBUSTION CHAMBER

Yousef W., Davydov N., Li Ziwan
wyasen@mail.ru
Supervisors: V. Sychenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The article presents the results of the calculation of 3D numerical simulations in the ANSYSFluent software package to reduce emissions (CO, NOx) in the combustion chambers.

УДК 621.43.056

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ НАСАДКА ГОРЕЛКИ НА ОБРАЗОВАНИЕ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ

Яковлев М.М.
pro-mixan@ya.ru
Научный руководитель: А.В. Бакланов, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

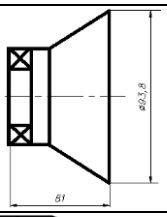
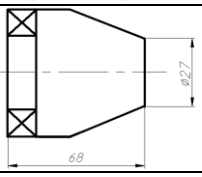
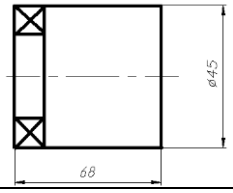
Представлены результаты исследований по определению выбросов токсичных веществ в продуктах сгорания на выходе из горелок. Проведены огневые испытания и выявлена оптимальная горелка обеспечивающая низкий уровень выбросов вредных веществ. По результатам эксперимента построена эмпирическая зависимость, оценивающую влияние параметра крутки на концентрацию оксидов азота и оксида углерода.

Целью исследования, в данной работе, является испытание горелок с различной формой соплового насадка для выявления конструкции с наименьшим содержанием выбросов вредных веществ [1].

Горелка №1 – серийная с диффузорным насадком и углом лопаточного завихрителя 45° Горелка №2 имеет конфузорнуый насадок с диаметром выходного сопла 27мм. Горелка №3 имеет удлиненный цилиндрический насадок. В центре завихрителя каждой горелки установлен струйный распылитель [2] .

В процессе проведения эксперимента [3] выявлено, что при работе диффузорной горелки фронт пламени стабилизируется вдоль стенок диффузора с выраженным пустотелым ядром. Отсутствие эффективного перемешивания топливо-воздушной смеси в диффузорной горелке объясняется пристеночным направлением воздуха выходящего из завихрителя [4]. Визуальная оценка горения газа с конфузорной и цилиндрической формой горелки показала иную картину формы и цвета пламени.

Таблица 1

№	Геометрия форсунки	Концентрация	
		CO,ppm	NOx,ppm
1		11	4
2		2	3
3		10	2

Отмечено что воздух, выходящий из завихрителя при конфузорной и цилиндрической форме насадка, направлен в приосевую область. Цвет пламени голубой, что свидетельствует о хорошем перемешивании топливновоздушной смеси. Это позволяет считать, что конфузорный насадок горелочного устройства формирует в зоне горения выраженное ядро потока. Процесс объясняется смыканием вихревого слоя и уменьшением поперечных размеров зоны рециркуляции. Кромки горелок при работе не имеют следов перегрева.

Наилучший конструктивный вариант с низкой концентрацией выбросов вредных веществ у горелки конфузорной формой насадка.

Для выявления закономерности влияния конструкции насадка и параметра крутки, на выбросы в закрученном горящем потоке произведены дополнительные расчеты.

В качестве параметра крутки учитывающего форму насадка горелочного устройства использована введенная в работе [5] зависимость:

$$Sg = \mu \frac{tg\varphi}{\Psi \cdot C} \qquad (1)$$

где: $\Psi = \left(1 - d^2_{вт} / d^2_{з}\right)$

$C = d_з / d_C$ - степень поджатия сопла, учитывающая форму соплового насадка.

μ-коэффициент потерь закрутки, зависящий от угла установки лопаток φ и относительного шага решетки $\gamma = d_з / 2 \cdot t \cdot N$, где N - число лопаток завихрителя, t- ширина лопатки.

Полученные данные охарактеризованы зависимостью CO и NOx от параметра крутки S_g (рис.5). Откуда видно, что с увеличением параметра крутки, меняющегося за счет расширения соплового насадка возрастает содержание CO. Наблюдается слабое влияние параметра крутки, в диапазоне от 05-1, на эмиссию оксидов азота.

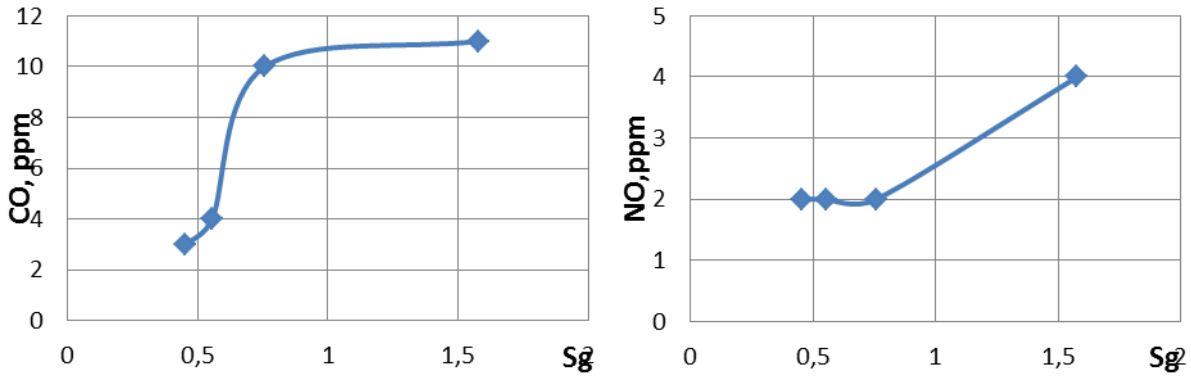


Рис. 5. Зависимость CO и NOx от параметра крутки S_g

Полученные из рис.5 результаты обобщены в виде математической зависимости CO и NOx от параметра крутки S_g:

$$CNO_x(S_g) = 2{,}1694 \cdot (S_g)^2 - 2{,}6464 \cdot (S_g) + 2{,}7719 \quad (3)$$

$$CO(S_g) = -0{,}8379 \cdot (S_g)^{-3} + 10{,}993 \quad (4)$$

Выводы

1. Разработан способ определения оптимальной конструкции горелки.
2. Предложена эмпирическая зависимость учитывающая влияние параметра крутки S_g на выбросы CO и NO_x .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мингазов Б.Г., Бакланов А.В.* Исследование стабилизации пламени в модельной камере сгорания ГТД // Известия вузов Авиационная техника №3, 2016, с 106-110.

2. *Бакланов А.В.* Управление процессом сжигания топлива путем изменения конструкции горелки в камере сгорания газотурбинного двигателя // Вестник Московского авиационного института. 2018. Т. 25. № 2. С. 73-85.

3. *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.

4. *Бакланов А. В., Маркушин А. Н., Цыганов Н. Е.* Влияние формы насадка вихревой горелки на смешение в закрученной струе // Вестник казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. 2014. № 3. С. 13–18.

5. *Урывский А.Ф.* Гидравлический расчет вихревых горелок.- В кн.: Горение в потоке. Казань, 1982.с. 91-97.

INFLUENCE OF THE FORM NOZZLE BURNER ON THE FORMATION OF TOXIC SUBSTANCES

Yakovlev M.

andreybaklanov@bk.ru

Scientific adviser: A. Baklanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

The article presents the results of the measurement of emission level in the exhaust gas of the burner. The firing tests were conducted and by the results of those tests were chosen burners that provide low emission level and high completeness of combustion. Using the experiment results the empirical dependence was determined that shows a relationship between the swirl parameter and the concentration of nitrogen oxide and carbon monoxide.

ПОДСЕКЦИЯ 3.2

РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ В РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

УДК 536+537; 621.452+621.454; 621.4+662.767+665.723

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ОДНО – И МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА УГЛЕВОДОРОДНЫХ И АЗОТОСОДЕРЖАЩИХ ГОРЮЧИХ И ОХЛАДИТЕЛЯХ

Абдуллин М.Р., Давлатов Н.Б., Шигапов Р.Р.
mansur1392@mail.ru
Научный руководитель: В.А. Алтунин, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В докладе проведена всесторонняя классификация путей совершенствования жидкостных ракетных двигателей различного базирования и применения. Показаны возможные пути повышения эффективности двигателей летательных аппаратов на существующих и перспективных жидких углеводородных и азотосодержащих горючих и охладителях.

Разработка новых способов совершенствования и повышения эффективности жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) и ЖРД многоразового использования (ЖРДМИ) является очень актуальной задачей [1-32]. На основе результатов экспериментальных исследований, патентов на изобретения РФ и реальной эксплуатации ЖРД и ЖРДМИ в докладе проводится следующая классификация, связанная с направлениями разработок способов по дальнейшей их модернизации:

1. Способы повышения эффективности ЖРД, ЖРДМИ: существующие; перспективные.

2. Разновидности и принадлежность способов повышения эффективности ЖРД, ЖРДМИ:

1) способы повышения эффективности ЖРД, ЖРДМИ за счёт:

а) разработки новых оптимальных стандартных конструктивных схем ЖРД, ЖРДМИ на штатных ракетных топливах, их узлов, агрегатов и деталей [1-3], например, разработка (с использованием специальных компьютерных программ) оптимальных и эффективных размеров камеры сгорания, сопла, диаметра критического сечения сопла, турбонасосного агрегата (ТНА), форсунок, каналов рубашки охлаждения; увеличение давления наддува в баках горючего и окислителя; увеличение числа оборотов ТНА; увеличение числа форсунок горючего и окислителя; создание эффективной и надёжной рубашки охлаждения и др.; (это существующий способ);

б) создания и применения новых конструкционных металлических и неметаллических материалов повышенных характеристик [1-4, 11]; (это одновременно существующий и перспективный способ, т.к. исследования продолжаются);

в) применения новых технологий при изготовлении ЖРД, ЖРДМИ, их деталей, узлов и агрегатов повышенных характеристик [3, 4, 11-13, 17, 23, 24, 27, 29-32]; (это одновременно существующий и перспективный способ, т.к. исследования продолжаются);

г) создания и применения новых штатных датчиков и систем контроля за тепловыми процессами в ЖРД, ЖРДМИ [1-3, 11, 13, 14, 17, 21, 29-32]; (это одновременно существующий и перспективный способ, т.к. исследования продолжаются);

д) применения штатных жидких углеводородных и азотосодержащих горючих и охладителей [1-4, 10-14, 16, 17, 19-27, 29-32]:

- углеводородных горючих и охладителей (УВГ, УВО); например, ТС-1, Т-1, Т-5, Т-6, РГ-1 (нафтил) и др.; (это существующий способ);

- углеводородных горючих и охладителей метанового ряда в сжиженном состоянии (криогенных горючих), например, сжиженных природных газов (СПГ) метана, пропана, этана, их смесей и др., где основным является СПГ метан; (это перспективный способ, т.к. внедрение, в основном, сейчас происходит в пилотном режиме в наземном (сухопутном, речном, морском) транспорте, в промышленных объёмах - на станциях газоперекачки, при добыче тяжёлых нефтей, но массового внедрения в авиационную, аэрокосмическую и

космическую технику пока не произошло, существуют опытно-экспериментальные образцы ЖРД, ЖРДМИ, ЖРД малой тяги (ЖРДМТ), ЖРДМИМТ, ВРД, ГТД, энергоустановок (ЭУ) и техносистем (ТС), но научные исследования и конструкторско-проектные разработки ещё продолжаются);

- азотосодержащих горючих и охладителей (АЗГ, АЗО); например, гидразина и его производных – гомологов (монометилгидразина, несимметричного диметилгидразина (НДМГ) (гептила) и др.); (это существующий способ);

е) создания и применения новых штатных жидких ракетных горючих с индивидуальными повышенными характеристиками и свойствами без внедрения различных присадок и добавок [1-3, 5, 7, 12, 16, 21, 31, 32]; (Данный способ является перспективным, т.к. на базе природных нефтяных жидкостей ведутся научно-экспериментальные исследования по возможности создания новых индивидуальных горючих и охладителей, в том числе, и синтетических, а также по подбору окислителей к ним);

2) способы повышения эффективности ЖРД, ЖРДМИ за счёт увеличения эффективности существующих штатных жидких ракетных горючих:

а) путём внедрения в горючее различных присадок в ходе его получения на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) – это, например, следующие присадки: антиокислительные, противоизносные, антикоррозионные, противоводокристаллизационные, антиэлектростатические, антинагарные, стабилизаторы, активаторы воспламенения, вещества (депрессаторы), понижающие температуру замерзания и др. (см. патенты на изобретения РФ №№2259388, 2188329, 2178338, 2288207, 2484123, 2584947, 2372382, 2133851, 734246, 244560, 2461604, 2485081, 2309140, 2442010, 2527918, 2486229, 2529035, 2305127, 2527918) [1-3, 5-10, 12, 15, 16, 20, 21, 28, 30-32]; данные присадки могут вводиться в горючее в виде нано-материалов (растворимых нано – порошков), а также в виде растворов или в виде суспензий; (это одновременно существующий и перспективный способ);

б) путём внедрения в горючее различных энергетических металлизированных добавок [1-3, 5-10, 12, 15, 16, 20, 21, 28, 30-32], которые вводятся:

- в виде металлизированных нано - дисперсных порошков различными способами;

- в виде гидридов металлов;

- в виде гидридов фуллеренов;(данный способ является существующим и перспективным одновременно, т.к. широкого внедрения он пока не получил, а научно-экспериментальные исследования ещё продолжаются);

в) путём внедрения в горючее различных энергетических неметаллизированных добавок в виде растворимых порошков, их концентрированных растворов или гелирования при подготовке к полёту [1-3, 5-10, 12, 15, 16, 20, 21, 28, 332]:

- бора; (это существующий и перспективный способ одновременно);

- производных бора (бороводородов, или боранов, или гидридов боров), (их ещё называют борсодержащими компонентами энергоёмких горючих); (это существующий и перспективный способ одновременно);

- технического углерода; (это существующий и перспективный способ одновременно);

- различных углеродных нано-частиц – фуллеренов, например, фуллеренов марок C_{60}, C_{70}, C_{84}:

в жидкие углеводородные горючие (УВГ) и охладители (УВО), например, в ТС-1, РГ-1 и в др. [1-3, 5-10, 12, 15, 16, 20, 21, 28, 30-32], (это существующий и перспективный способ одновременно);

- в жидкие азотосодержащие горючие (АЗГ) и охладители (АЗО), например, в чистый гидразин и его производные - гомологи [1-3, 5-10, 12, 15, 16, 20, 21, 28, 31, 32]; (это перспективный способ, т.к. в настоящее время интенсивно ведутся научно-экспериментальные исследования по влиянию чистых фуллеренов (C_{60}, C_{70}, C_{84}) на теплофизические и термодинамические свойства (ТФС, ТДС) жидкого чистого гидразина и его производных – гомологов;);

г) путём внедрения в горючее одновременно различных энергетических

металлизированных и неметаллизированных добавок в виде растворимых порошков, их концентрированных растворов или гелирования при подготовке к полёту, в ходе (воздушного, аэрокосмического, космического) полёта ЛА, КЛА [1-3, 5-10, 12, 15, 16, 20, 21, 28, 30-32];(данный способ одновременно является существующим и перспективным);

3) способы повышения эффективности ЖРД, ЖРДМИ за счёт создания и применения новых штатных энергоёмких жидких ракетных горючих (и топлив) [1-3, 5-10, 12, 15, 16, 20, 21, 28, 30-32]:

а) путём разработки, создания и применения жидких углеводородных компонентов (добавок) для их дальнейшего введения в существующие и перспективные обычные и энергоёмкие горючие; это такие компоненты, как, например, метилциклогексан, толуол, изопропилбензол, изобутилбензол, циклин (это синтин – синтетический углеводород), пенталан, децилин; (данный способ является перспективным, т.к. научные исследования продолжаются);

б) путём разработки и создания (на базе существующих и перспективных) новых составных жидких энергоёмких горючих (и топлив) [1-3, 5-10, 12, 15, 16, 20, 21, 28, 30-32]:

- составные горючие по системе «перспективное + существующее горючее»; в настоящее время созданы и испытаны жидкие составные борсодержащие горючие: «изопропилметакарборан (ИПМК) + Толуол», «ИПМК + Нафтил», «ИПМК + Циклин», «ИПМК + Толуол + Циклин», «ИПМК + Т-6», «ИПМК + РJ-5» и др.; интенсивно ведутся исследования возможности присоединения, к существующему жидкому УВГ (УВО), например, к РГ-1 (к нафтилу) новых энергоёмких горючих, первые полученные результаты показывают [30], что наибольший эффект от присоединения дают горючие Синтин и Боктан; (это перспективный способ);

- составные горючие по системе «перспективное + перспективное горючее»); в настоящее время созданы и испытаны жидкие составные борсодержащие горючие: «ИПМК + изопропилбензол», «ИПМК + изобутилбензол», «ИПМК + пенталан» и др. (это одновременно существующий и перспективный способ, т.к. некоторые виды таких новых штатных энергоёмких горючих (и топлив) уже применяются в реальной авиационной, аэрокосмической и космической технике двойного назначения, но всесторонние научно-экспериментальные исследования ещё продолжаются);

в) путём разработки и создания (на базе существующих и перспективных) новых составных жидких энергоёмких горючих с различными присадками и добавками [1-3, 5-10, 12, 15, 16, 20, 21, 28, 30-32]; (данный способ является перспективным, т.к. ведутся научные исследования);

г) путём эффективной, мало затратной и экономичной разработки, создания, промышленного производства и применения различных фуллеренов; (см. пат.на изобретения РФ №№2107026, 2272784, 2373992, 2232712, 2455230, 2456233, 2558121, 2626635, 2659972, 2528985, 2299232);(данный способ является перспективным, т.к. ведутся научные исследования);

4) способы повышения эффективности ЖРД, ЖРДМИ за счёт их модернизаций, связанных с изменением теплофизических и термодинамических характеристик и особенностями эксплуатации жидких ракетных горючих (и топлив):

(данный способ является перспективным, т.к. исследования проведены, но внедрений пока нет);

5) способы повышения эффективности ЖРД, ЖРДМИ за счёт их конструктивных изменений, дополнений и модернизаций, связанных с применением существующих и перспективных жидких горючих (и окислителей) с внедрёнными (или (и) с внедряемыми в ходе работы) в них различных присадок и добавок;

(данный способ является перспективным, т.к. ведутся научные исследования);

6) способы повышения эффективности ЖРД, ЖРДМИ за счёт их конструктивных изменений, дополнений и модернизаций, связанных с внедрением новых технологий обеспечения повышенных характеристик по работоспособности, надёжности, выживаемости,

неуязвимости и безопасности в процессе их работы в ходе воздушного, аэрокосмического и космического (орбитального) полёта:

а) создание дополнительных камер и устройств для предварительной конверсии жидкого горючего [1-4, 11, 20, 21], (см. пат.на изобретение РФ №2163685); например, жидкого чистого гидразина в ЖРДМТ, ЖРДМИМТ, в микро-ЖРД (м-ЖРД), м-ЖРДМИ; (это одновременно существующий и перспективный способ);

б) создание систем и устройств выдавливания жидкого ракетного топлива из баков горючего и окислителя; (это одновременно существующий и перспективный способ);

в) создание систем очистки баков и сеток горючего (и окислителя) ЛА, КЛА в ходе полёта от остатков жидкого горючего (и окислителя):

- путём разработки новых различных конструктивных схем сбора горючего (и окислителя) с дальнейшей их утилизацией (сбросом в открытый космос, сбором и консервацией внутри баков, дожиганием на орбите или при спуске на Землю, использованием (совместно с вводимыми металлизированными добавками) для последнего дожигания с целью получения максимального импульса тяги для увода КЛА на дальнюю орбиту захоронения и др. (см. пат.на изобретение РФ №№2196081); (это одновременно существующий и перспективный способ);

- путём применения электростатических полей (Е) [1-4, 11, 18-21, 24, 26, 27, 29, 31, 32]; (это одновременно существующий и перспективный способ, т.к. научно-экспериментальные исследования и опытно-конструкторские разработки продолжаются);

г) создание систем и устройств по внедрению добавок в жидкие ракетные горючие перед их сжиганием:

- металлизированных добавок; (см. пат.на изобретения РФ №№2485081, 244560, 2201429, 2442010, 2513850);

- неметаллизированных добавок; (см. пат.на изобретения РФ №№2485081, 244560, 2201429, 2513850);

д) создание новых конструктивных схем ЖРД, ЖРДМИ, ВРД, ЭУ, ТС с изменением и дополнением узлов, агрегатов и деталей с целью повышения ресурса, надёжности и эффективности; (см. пат.на изобретения РФ №№ 2352804, 2163685, 2166661, 2197629, 2202703, 2238423, 2211938, 2197628, 2238424, 2187684, 2190114, 2622026, 2517949, 2516723, 2516678, 2515576, 2514863, 2514570, 2513059, 2511982, 2511961, 2442010, 2527918, 2522536, 2513850, 2215291, 2452896, 2215671, 2155910, 2228456, 2289078, 2287715, 2447362, 2388966, 2212364); [1-4, 11, 13, 14, 21, 23-27, 31, 32]; (это одновременно существующий и перспективный способ);

е) создание систем защиты топливных баков космических летательных аппаратов (КЛА) и самих КЛА от приближающихся объектов и тепловых ударов [17]; (это перспективный способ);

7) способы повышения эффективности ЖРД, ЖРДМИ за счёт создания новых датчиков и систем контроля[13, 14, 17, 19-21,29, 31, 32]:

а) за аномальными тепловыми процессами в топливно-охлаждающих системах (в каналах рубашек охлаждения и топливоподачи, фильтрах, форсунках) (см. пат.на изобретения РФ №№22123364, 2388966, 2447362, 2287715, 2289078, 2228456, 2155910, 2215671, 2452896, 2213291, 2482413, 2504843, 2580675);

б) за утечкой жидких ракетных горючих (УВГ, УВГ(СПГ), АЗГ); (см. пат. на изобретение РФ №№2622026; (это одновременно существующие и перспективные способы);

8) способы повышения эффективности ЖРД, ЖРДМИ за счёт использования электростатических полей (Е) [13, 14, 17, 19-21, 29, 31, 32], (см. пат.на изобретения РФ №№22123364, 2287715, 2155910, 2215671, 2452896, 2213291, 2482413, 2504843);

а) в системах топливоподачи и охлаждения (в рубашках охлаждения ЖРД, ЖРДМИ):

б) в системе топливоподачи и распыла (в форсунках):

в) в общих системах КЛА при использовании жидких горючих из баков;

г) в системах контроля и управления двигателей КЛА и самих КЛА;

(это одновременно существующие и перспективные способы, т.к. научно-экспериментальные и опытно-конструкторские исследования и разработки продолжаются);

Применение материалов доклада будет способствовать созданию новой отечественной авиационной, аэрокосмической и космической техники повышенных характеристик по ресурсу, надёжности, эффективности, безопасности, экономичности и экологичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.П.* Теория ракетных двигателей: учеб. для студентов втузов / Под ред. В.П. Глушко /. М.: Машиностроение, 1989. 464 с.

2. *Васильев А.П., Кудрявцев В.М., Кузнецов В.А.* Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей / Под ред. В. М. Кудрявцева /. М.: Изд-во «Высшая школа», 1993. 704 с.

3. *Добровольский М.В.* Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: учеб. для вузов / Под ред. Д.А. Ягодникова /. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 448 с.

4. *Коломенцев А.И., Байков А.В., Мартыненко С.И. и др.*Проблема разработки микродвигательных установок //Изв. вузов. Авиационная техника. Казань: Изд-во КГТУ, 2010. № 2. С. 53-55.

5. *Хавкин А.В., Гуляева Л.А., Белоусов А.И.* Производство реактивных топлив повышенной плотности (Т-8В и Т-6)// Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2015. №4. С. 13-16.

6. *Бакулин В.Н., Дубовкин Н.Ф., Котова В.Н. и др.*Энергоёмкие горючие для авиационных и ракетных двигателей / Под ред. Л.С. Яновского /. М.: Изд-во «ФИЗМАТЛИТ», 2009.400 с.

7. *Братков А.А., Серёгин Е.П., Горенков А.Ф. и др.*Химмотология ракетных и реактивных топлив / Под ред. А.А. Браткова /. М.: Изд-во «Химия», 1987. 304 с.

8. *Данилов А.М.* Применение присадок в топливах: Справочник. 3-е издание, доп. СПб: Изд-во «ХИМИЗДАТ», 2010. 360 с.

9. *Мекалова Н.В.* Фуллерены в растворах. Уфа: Изд-во «Уфимский государственный нефтяной технический университет», 2001. 107 с.

10. *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.

11. *Бойцов А.Г.* Инновационные технологии производства изделий ракетно-космической техники. М.: Изд-во «Федеральное космическое агентство. Некоммерческое партнёрство «Российский учебно - научно - инновационный комплекс авиакосмической промышленности», 2015. 362 с.

12. *Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М. и др.*Инженерные основы авиационной химмотологии. Казань: Изд-во Казан.ун-та, 2005. 714 с.

13. *Алтунин В.А.* Способ повышения надёжности ЖРД одно – и многоразового использования // Патент на изобретение РФ №2287715. Бюл. №32 от 20.11.2006.

14. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н. и др.* Разработка способов борьбы с термоакустическими автоколебаниями давления в топливно-охлаждающих каналах двигателей и энергоустановок летательных аппаратов наземного, воздушного, аэрокосмического и космического применения //Изв. вузов. Машиностроение. 2017. №10 (691). С. 77 – 90.

15. *Анисимова З.В.* Способ оптимизации горения жидких углеводородных топлив // Патент на изобретение РФ №2299232. Бюл. №14 от 20.05.2007 г.

16.*Егорычев В.С., Кондрусев В.С.* Топлива химических ракетных двигателей. Самара: Изд-во Самарского гос. аэрокосмического ун-та им. акад. С.П. Королёва, 2007. 72 с.

17. *Алтунин В.А.* Способ защиты аэрокосмических систем от лазерного оружия // Патент на изобретение РФ №2212364. Бюл. №26 от 20.09.03 г.

18. *Алиев И.Н.* О возможности использования электромагнитного поля для очистки от газовых пузырей сеток в топливных системах ракет // Магнитная гидродинамика. 1996. №3.

С. 376-378.

19. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н. и др.* Анализ исследований электрических полей в различных средах и условиях. Обзор// Инженерно-физический журнал. 2012 г. Том 85, №4. С. 881-896.

20. *Алтунин В.А., Абдуллин М.Р., Давлатов Н.Б., Шигапов Р.Р. и др.* Исследование возможности интенсификации теплоотдачи к жидким и газообразным углеводородным и азотосодержащим горючим и охладителям// Сб. тез.докл.Всеросс. научно-техн.конф. молодых учёных и специалистов «Авиационные двигателя и силовые установки». М.: Изд-во ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», 2019. С. 316-317.

21. *Алтунин В.А., Давлатов Н.Б., Зарипова М.А. и др.* Некоторые пути повышения эффективности углеводородных и азотосодержащих горючих космического применения // Журнал «Военмех. Вестник БГТУ», № 55. 2019. С. 424-429.

22. *Ворожеева О.А., Ягодников Д.А.* Математическая модель и расчетные исследования теплового состояния стенки камеры сгорания РДМТ на газообразном топливе кислород-метан в импульсном режиме работы// Изв. вузов. Сер. «Машиностроение». 2013 г. №7. С. 11-20.

23. *Коватёва Ю.С., Воробьев А.Г., Боровик И.Н. и др.* Жидкостной ракетный двигатель малой тяги на топливе газообразный кислород и газообразный метан - разработка, проектирование, испытания и анализ полученных результатов// Вестник МАИ, т. 18, №3. М: Изд-во МАИ, 2011. С. 45-54.

24. Горохов В.Д., Кунавин С.П. Работы КБХА по созданию перспективных ЖРД на компонентах топлива кислород-метан. Научно-технический сб. КБ Химавтоматики. Воронеж: Изд-во ИПФ, 2001. С. 96 -101.

25. *Афанасьев И.А.* Адреналин в Пересвете. Рекордные испытания двигателя на сжиженном природном газе // Журнал «Новости космонавтики», № 11(346), 2011. С. 44.

26. *Белов Е.А., Богушев В.Ю., Клепиков И.А. и др.* Результаты экспериментальных работ в НПО «Энергомаш» по освоению метана как компонента топлива для ЖРД// Труды НПО «Энергомаш» им. академика В.П. Глушко. 2000. Т. XVIII. С. 86-100.

27. *Кочанов А.В., Клименко А.Г.* Исследования проблем создания ракетных двигателей малой тяги на экологически чистых газообразных топливах // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2006.-№3. С. 15-30.

28. *Гольдшлегер Н.Ф., Моравский А.П.* Гидриды фуллеренов: получение, свойства, структура // Успехи химии. 66(4). 1997. С. 353-375.

29. *Алтунин В.А., Абдуллин М.Р. и др.*Особенности тепловых процессов и их контроль в топливно-охлаждающих системах двигателей и энергоустановок летательных аппаратов на жидких и газообразных углеводородных горючих и охладителях // Тр. 51 научных чтений памяти К.Э. Циолковского. Секция №2: «Проблемы ракетной и космической техники». (Калуга, 20-22 сентября 2016 г.). РАН. РАКЦ. Казань: Изд-во Казанского университета, 2017. С. 178-184.

30. *Аверьков И.С., Демская И.А., Катков Р.Э., Разносчиков В.В., Самсонов Д.А., Тупицын Н.Н., Яновский Л.С.* Анализ энергетических возможностей составных углеводородных горючих для кислородных двигателей космических ракетных ступеней // Космическая техника и технологии. №4(19). 2017. С. 46-51.

31. *Алтунин В.А., Абдуллин М.Р., Платонов Е.Н., Давлатов Н.Б. и др.*Разработка способов повышения эффективности теплофизических и термодинамических свойств жидких углеводородных и азотосодержащих горючих и охладителей для двигателей гиперзвуковых, аэрокосмических и космических летательных аппаратов // Матер.докл. 43 Академических чтений по космонавтике, посвящ. памяти акад. С.П. Королёва. РАН. РАКЦ. РОСКОСМОС. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. Т. 2. С. 71-72.

32. *Алтунин В.А., Абдуллин М.Р., Давлатов Н.Б.*Разработка методик расчёта тепловых процессов в рубашках охлаждения жидкостных ракетных двигателей на жидких и газообразных горючих и охладителях // Сб. тез.докл. 45 Международ.молодёж.научн.конф.

«Гагаринские чтения – 2019». Сек. №2.3: «Ракетные двигатели». М.: Изд-во МАИ, 2019, с. 150.

ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF THE WAYS TO IMPROVE LIQUID ROCKET ENGINES OF NON-REUSABLE AND REUSABLE APPLYING ON HYDROCARBON AND NITROGEN-CONTAINING FUELS AND COOLERS

Abdullin M., Davlatov N., Shigapov R.
mansur1392@mail.ru
Supervisor: V. Altunin, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The report conducted a comprehensive classification of ways to improve liquid rocket engines of various bases and applications. Possible ways of increasing the efficiency of aircraft engines on existing and prospective liquid hydrocarbon and nitrogen-containing fuels and coolants are shown.

УДК:629.7.036

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ОКНА (ГДО) НА ОСНОВЕ ЗАКРУЧЕННОГО ПРОТИВОТОЧНОГО ТЕЧЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДИАМЕТРА МИНИМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СОПЛА И ДАВЛЕНИЯ НА ВХОДЕ.

Бикмучев [1] А. Р., Ковалеров[2] К.П., Коновалов[2] Р. Д.
Kostyan.koval@mail.ru,konrus2019@yandex.ru
Научный руководитель: Саттаров А.Г., д.т.н, профессор.
1.ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина», Мос.обл., Звездный городок;
2.Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г.Казань.

В данной работе выполнено экспериментальное исследование газодинамического окна (ГДО) лазерного ракетного двигателя (ЛРД). Эти исследования показали, что при отношении диаметра ГДО к диаметру критического сечения существенно влияет на степень разрежения через ГДО. При $D_{отн} = 0.714$ достигается наибольшая степень разрежения через ГДО. Для модельного ЛРД определено оптимальное соотношение диаметра отверстия ГДО к диаметру минимального сечения.

Основной задачей газодинамического окна является разделение двух сред с различными полостями камеры поглощения лазерного ракетного двигателя (ЛРД) от окружающей среды (атмосферного воздуха) без использования твердой преграды и введение лазерного излучения в камеру поглощения через данное оптически прозрачное пространство. Перепад давления в газодинамическом окне (ГДО) поддерживается за счет энергии разворота газового потока.

Экспериментальное исследование эффективности ГДО на основе закрученного противоточного течения с применением методов визуализации потока является актуальной задачей при разработке ЛРД.

Визуализация и исследование внутрикамерных закрученных течений в ЛРД проводился на модельном ЛРД-1.1 из оргстекла (рис.1). Модельная установка позволяет исследовать течение рабочего газа в зависимости от различных геометрических форм ГДО, длины камеры и при разных диаметрах критического сечения сопла, при различных давлениях на входе. Для более точного измерения статического давления вдоль стенок, поверхность камеры подвергалась чистовой обработке.

На рис.1 приведен внешний вид модельного ЛРД-1.2, а на рис. 2-схема. Рабочее тело поступает в КП модельного ЛРД через штуцер 1 в кольцевой коллектор 2, оттуда в камеру поглощения через 4 тангенциальных отверстия 3 и закручивается.

В камере поглощения 4 модельного ЛРД образуется вихревой поток, имеющий в приосевой зоне область пониженного давления. Закрученный поток рабочего газа доходит до ГДО 5, разворачивается и истекает по оси камеры 4 через критическое сечение, образованное деталью 6, в окружающую среду.

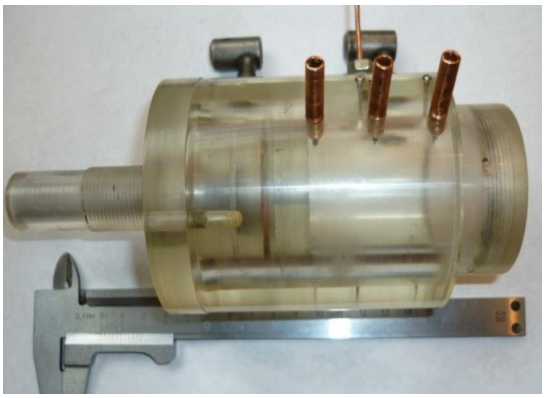


Рис. 1.Внешний вид модельного ЛРД-1.2

В ходе экспериментов менялись – диаметр критического X_1, сечения,иX_2, давление на входе в КП (рис.2)

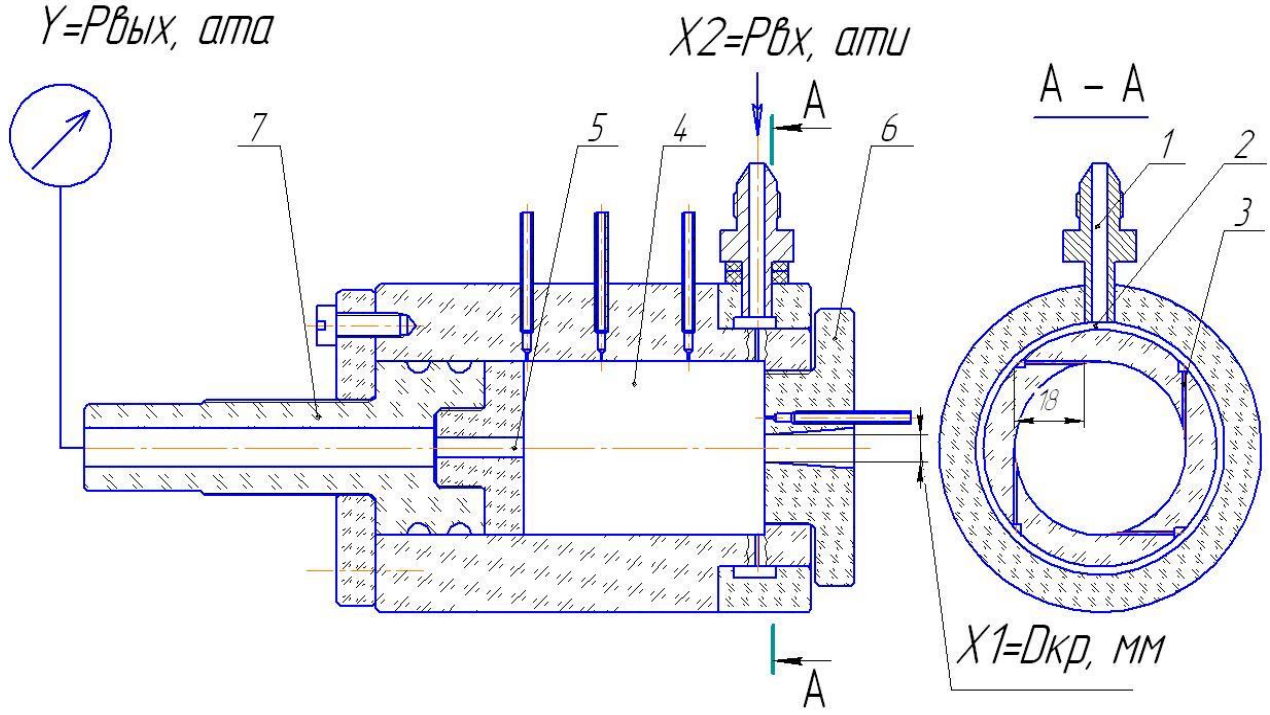


Рис.2. Модельный ЛРД-1.1 для проверки эффективности ГДО

X_1 – диаметр критического сечения; X_2 – входное давление; Y-степень разрежения.

При подготовке эксперимента для выбора начальных уровней двух основных независимых переменных проводились опыты с различными вариантами деталей, образующих ГДО и критическое сечение ЛРД-1.2. Исходя из данных опытов был выбран, ГДО с плоским днищем и минимальным диаметром на входе 5 мм.

Первым фактором, влияющим на разрежение через ГДО является давление на входе, а вторым фактором – отношение диаметра отверстия сечения ГДО к минимальному диаметру сопла. (рис.3).

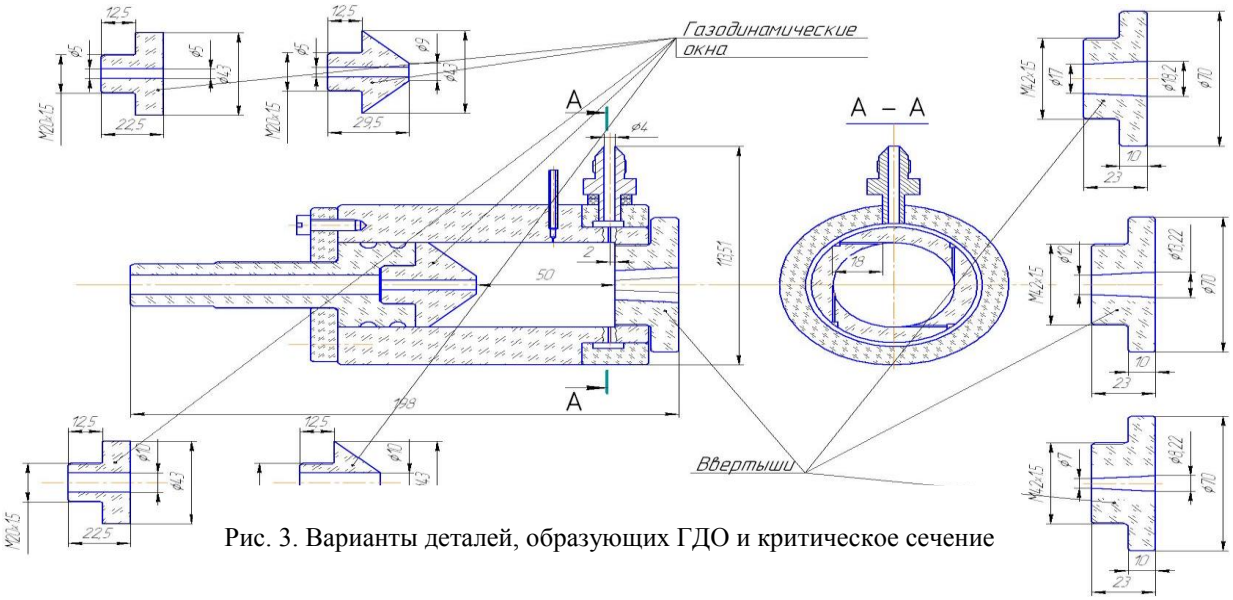


Рис. 3. Варианты деталей, образующих ГДО и критическое сечение

Проводились испытания модельного ЛРД-1.1 с использованием атмосферного воздуха в качестве рабочего тела, с реализацией ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка.

Результаты опытов проверялись на однородность и воспроизводимость. Окончательное уравнение регрессии, после проверки гипотезы об адекватности принимает вид:

$$\hat{Y}(\Delta P) = 0.079 - 0.044X_1 + 0.018X_2 - 0.016(X_1^2 - 0.67) + 0.048(X_2^2 - -0.67) - 2.256 \cdot 10^{-3}X_1X_2 \quad (1)$$

В данном уравнении за выходной параметр принят перепад давления ΔP между КП и окружающей атмосферой, который измерялся вакуум-манометром. Данное уравнение использовалось для поиска оптимального сочетания параметров X1 и X2, в пределах плана эксперимента, обеспечивающих минимальные значения разрежения со стороны переднего днища камеры поглощения ЛРД.

Изолинии поверхности отклика $\hat{Y}(\Delta P)$ уравнения (1), построенные с помощью пакета Mathcad приведены на рис. 4.

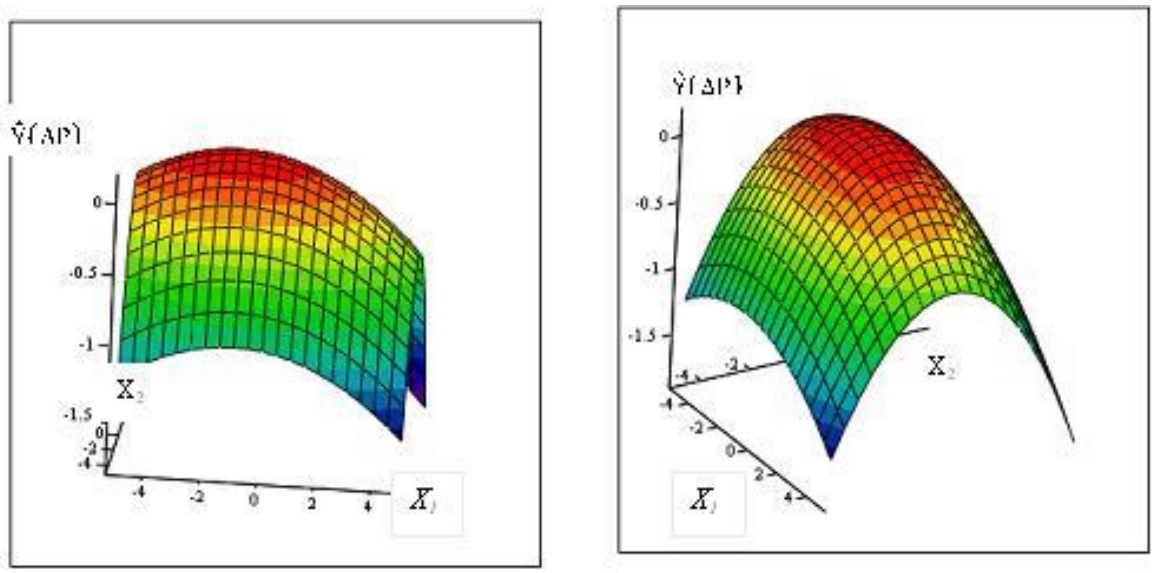


Рис. 4..Изолинии поверхности отклика уравнения (3.2.50)

Анализ уравнения регрессии (1), позволил определить параметры, обеспечивающие минимальное разрежение газа в приосевой зоне КП для данной конструкции ГДО, в пределах плана эксперимента, которые равны X1 = -1, X2= +1 (табл.1).

Таблица 1

Оптимальные параметры ГДО в области плана эксперимента

Газодинамическое окно модельного ЛРД-1.1	Оптимальные параметры		
	X1=Dкр, мм	Рвх, МПа	$Y_э^{ата}$, кПа
ЛРД-1.1	7	0.9	82

Таким образом, в результате испытаний ГДО на стенде (см. рис.5) получены оптимальные режимы работы данной конструкций ГДО в зависимости от конструктивного (Dкр) и режимного ($P_{вх}^{ати}$) параметров. Если выполняются данные условия, реализуется оптимальная работа лазерной энергетической установки, обеспечивается защита стенок камеры от конвективных тепловых потоков и осуществляется стабилизация непрерывного оптического разряда в осевом и радиальном направлениях.



Рис. 5. Модельные испытания ЛРД -1.1 на стенде, рабочий газ-воздух

Следуя принципу создания множественных плазменных образований, равномерно распределенных вдоль оси камеры поглощения, нами предлагается разработать ЛРД с осевым течением рабочего тела. Рабочий газ в КП в данном случае образует буферную зону газа между множественными плазменными образованиями (внутренний контур) и стенкой камеры поглощения ЛРД (внешний контур).

Осевой поток газа (рис6 а), истекающий через ГДО в камеру поглощения ЛРД должен решать те же задачи: осуществить стабилизацию ОР в осевом и радиальном направлениях, защиту стенок конструкции от лучистых и конвективных тепловых потоков.

На рис6 а) и 6 б) приведены схемы организации рабочего процесса в камере поглощения со множественными плазменными образованиями, т.е. оптические разряды образуют несколько очагов плазменных образований.

На рис. 6 а) приведена схема ЛРД с осевым «горением» НОР, т.е. множественные плазменные образования расположены вдоль оси КП ЛРД.

На рис. 6 б) приведена схема ЛРД с объемным «горением» НОР, т.е. множественные плазменные образования расположены по всему объему КП ЛРД.

Для тепловой защиты конструкции можно организовать между горячим ядром потока и стенкой КП ЛРД буферный газ. При этом увеличить мощность подводимого лазерного излучения необходимо до достижения приемлемых температур стенок конструкции в камере поглощения лазерного ракетного двигателя.

Газодинамическое окно ЛРД с осевым обдувом множественных плазменных образований является многоконтурным [100]. Внутренний контур представляет собой осевой поток газа, который расширяется в сопле Лаваля и обдувает ОР. Средний и наружный контуры представляют кольцевые сопла. Осевой поток газа в данном случае, кроме выполнения задачи разделения двух сред-полости КП ЛРД и окружающей среды (атмосферного воздуха), обдувает плазму, образованную НОР.

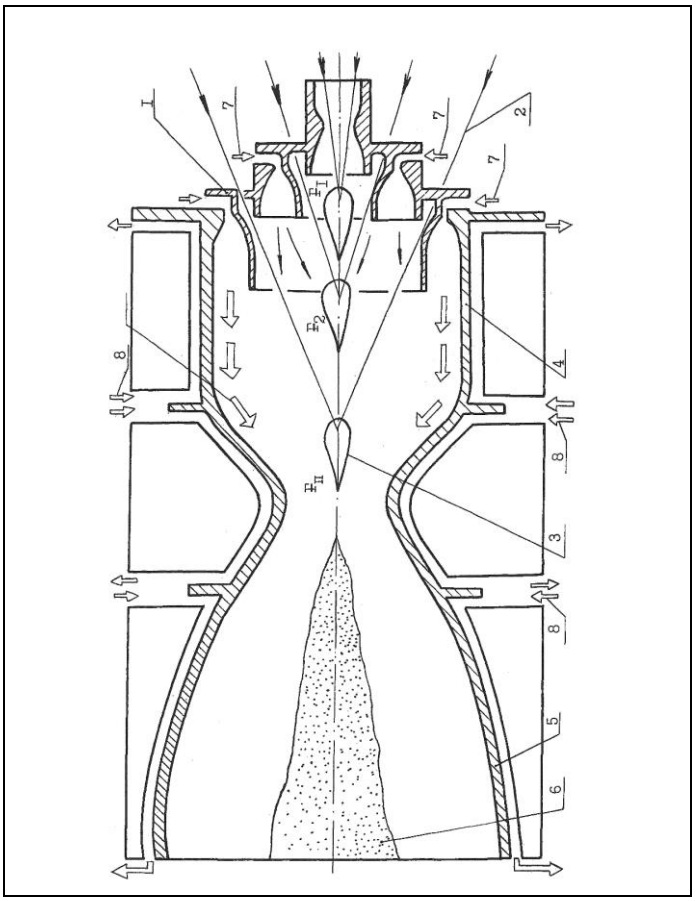


Рис. 6 а) Схема ЛРД с многоконтурным ГДО и с осевым «горением» множественных плазменных образованиями в приосевой области КП: 1 - многоконтурное ГДО, 2 - лазерное излучение, 3 – непрерывный оптический разряд, 4 – камера поглощения, 5 – сопло, 6 - высокотемпературный конвективный факел, 7 – подвод рабочего тела, 8 – охладитель, 9 – буферный газ.

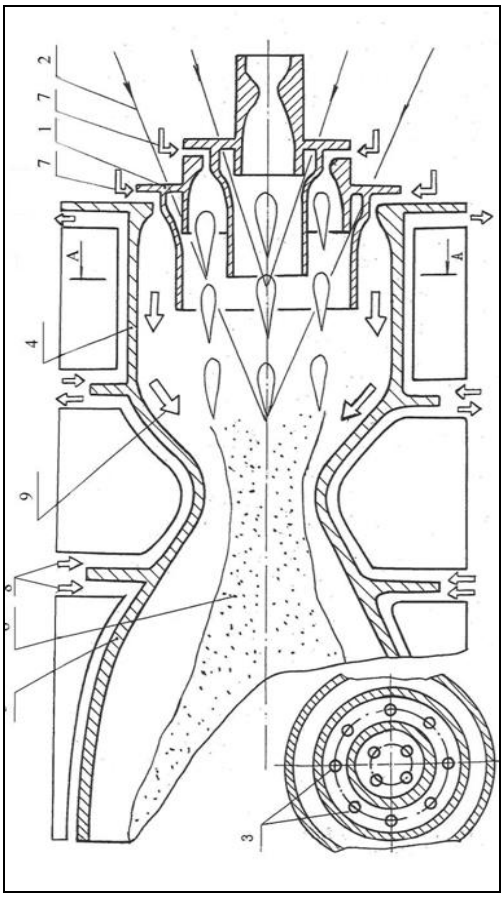


Рис. 6 б)Схема ЛРД с многоконтурным ГДО и с объемным «горением» множественных плазменных образований в приосевой области КП: 1 - многоконтурное ГДО, 2 - лазерное излучение, 3 – непрерывный оптический разряд, 4 – камера поглощения, 5 – сопло, 6 - высокотемпературный конвективный факел, 7 – подвод рабочего тела, 8 – охладитель, 9 – буферный газ.

Выводы

В результате проведенных модельных испытаний на стенде установлено, что при отношении диаметра ГДО к диаметру критического сечения $D_{отн} = \frac{D_{гдо}}{D_{кр}} = 0.294$ степень разрежения через ГДО составляет Yэ= 0.94 ата. Если увеличенить относительный диаметр до $D_{отн} = 0.417$ разрежение возрастает Yэ= 0.893 ата. При $D_{отн} = 0.714$ достигается

наибольшая степень разрежения через ГДО Yэ= 0.81 ата (см.таб.3.2.13). При этом, в камере поглощения модельного лазерного ракетного двигателя (ЛРД) -1.1 возрастает избыточное давление, которое составляет Рк = 1.5 ати. При достижении $D_{отн} = 1.0$ через ГДО появляются обратные токи, и эжекции не происходит.

Для модельного ЛРД определено оптимальное соотношение диаметра отверстия ГДО к диаметру минимального сечения, равное $D_{отн} = 0.714.$ Обеспечивает разрежение при осевой области $P = 82$ КПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дрегалин А.Ф., Черенков А.С.,Саттаров А.Г. Бикмучев А.Р., Пислегин С.Н. Экспериментальное и теоретическое исследование характеристик лазерного ракетного двигателя на основе непрерывного оптического разряда. //Известия вузов. Авиационная техника.2010. № 4.С.39-43.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE GAS-DYNAMIC WINDOW (GDW) ON THE BASIS OF A SWIRLING COUNTERCURRENT FLOW DEPENDING ON THE DIAMETER OF THE MINIMUM NOZZLE SECTION AND INLET PRESSURE

Bikmuchev[1] A.R., Kovalerov[2] K.P., Konovalov[2] R.D.

Kostyan.koval@mail.ru, konrus2019@yandex.ru

Supervisor: Sattarov A.G., doctor of technical Sciences, profeccor.

1.Researcher of the cosmonaut training center named after Yu.A. Gagarin,

2. Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan

In this work, an experimental study of the gas-dynamic window (GDW) of the laser rocket engine (LRD) was carried out. These studies have shown that the ratio of the diameter GDW to the diameter of the critical section significantly affects the degree of vacuum through the GDO. When D_(Rel)= 0.714 is achieved the greatest degree of rarefaction through the GDW. For the model LRD, the optimal ratio of the hole diameter WHERE to the diameter of the minimum cross section is determined.

УДК 629.7.036.54

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ С НАСОСНОЙ СП КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ АГРЕГАТОВ ЖРД

Галеев А.В.

galant1992@mail.ru

Научный руководитель: В.В. Родченко, д-р техн. наук, профессор

(Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет), Москва)

Создание перспективных ЖРД требует проведения большого объема испытаний камер сгорания, газогенераторов и турбонасосных агрегатов в составе экспериментальных установок с вытеснительными и насосными системами подачи компонентов ракетного топлива. Рассмотрены ЭУ с применением турбонасосных агрегатов с циркуляционными и замкнутыми контурами питания компонентами ракетного топлива и различными схемами питания газогенератора привода турбины.

Применение в экспериментальных установках (ЭУ) насосных систем подачи (СП) компонентов ракетного топлива (КРТ) для испытаний агрегатов ЖРД могут обеспечить большую продолжительность испытаний на стенде при применении циркуляционных контуров питания по сравнению с вытеснительными СП [1]. В этой связи исследование схем насосных СП с газогенераторным приводом турбины и запиткой газогенератора (ГГ) от насосов турбонасосного агрегата (ТНА) является актуальной.

Автономные испытания насосов проводят на ЭУ для отработки конструкции и

определения рабочих и кавитационных характеристик (рис. 1 и 2).

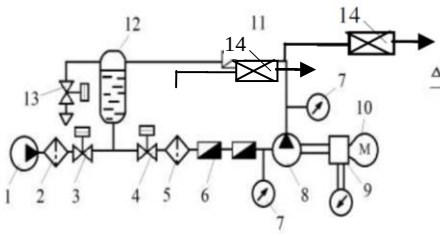


Рис. 1. Установка для испытания насосов:
1 – насос; *2* – фильтр; *3, 4, 13* – клапан;
5 – фильтр; *6* – расходомер; *8* – насос;
10 – электро-мотор; 11, 14 – дроссель;
12 – расходный бак

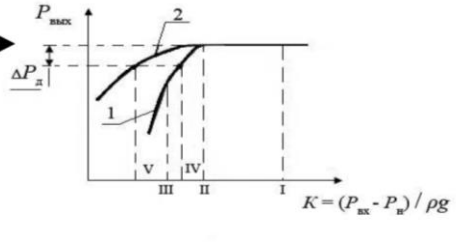


Рис. 2. Кавитационные характеристики насосов:
1 – насос О; *2* – насос Г; *I* – начало кавитации; *II, III, IV* и *V* – критические режимы насоса;
$\Delta p_д$ – величина допустимого падения напора насоса; *K* – кавитационный запас насоса

При испытаниях ТНА с газогенератором питание ГГ компонентами топлива можно осуществлять от стендовых систем высокого давления или от насосов ТНА. На рис. 3 показана схема установки для испытания ГГ двигателя 11Д57 с питанием от ТНА продолжительностью испытания до 40 с.

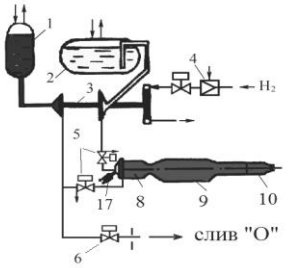


Рис. 3. Установка для испытания ГГ с питанием от ТНА:
1, 2 – ёмкости с жидкими кислородом и водородом; *3* – ТНА;
4 – газовый редуктор; *5* – клапаны подачи «О» и «Г» в ГГ; *6* – клапан слива «О»;
7 – пирозажигательное устройство; *8* – ГГ; *9, 10* – имитатор камеры

Такая же схема была принята при отработке ТНА двигателя SSME на стенде «Кока-1» в Санта-Сюзанна (США). Стенд обладал целым рядом недостатков, которые создавали определенные трудности при испытаниях ТНА и снижали качество полученных результатов. Следует отметить, что в процессе отработки ТНА «О» и ТНА «Г» на режимах 105 % от номинала продолжительность испытаний на стенде не превышала 37 с и 16 с соответственно для систем «О» и «Г».

Учитывая малую эффективность указанных испытаний, фирма «Рокетдайн» проводила отработку агрегатов СП при доводочных испытаниях (ДИ) двигателя.

Недостатком рассмотренной выше схемы испытаний насосов является ограниченность ресурса испытаний, который определяется запасом компонента в стендовых баках для питания насосов и ГГ.

Возможны и другие схемы привода турбины, например, с использованием газообразного водорода или же ГГ с питанием от стенда или испытуемых насосов.

Известно, что при течении жидкости в элементах стенда происходят необратимые процессы, приводящие к росту энтропии потока, так, например, при течении жидкости в насосе увеличение напора сопровождается прогревом компонента топлива на 5…10 градусов.

В стендовой СП для охлаждения жидкости после насоса можно применять теплообменник, однако он должен иметь большую поверхность, особенно при использовании криогенного компонента кислорода или водорода. Велики также гидропотери

и затраты на циркуляцию теплоносителя. Другой способ – слив отработанной жидкости в промежуточную ёмкость, где она охлаждается до температуры насыщения в результате частичного испарения, связан с минимальными потерями жидкости для охлаждения, но при этом увеличивается вероятность её загрязнения, нарушается непрерывность процесса и продолжительность испытания насоса на стенде определяется объемами баков. Указанные недостатки устраняются при использовании для циркуляции криогенного компонента струйного парожидкостного насоса сепарационного типа, схема которого приведена на рис. 4 [2].

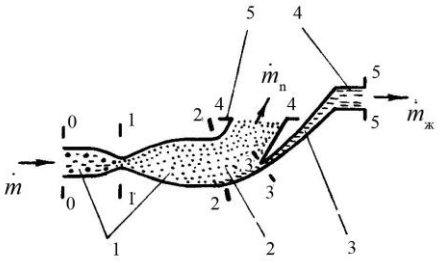


Рис. 4. Струйный парожидкостный насос разделительного типа:
1 – сопло; *2* – разделитель; *3* – диффузор; *4, 5* – патрубки отвода жидкой и паровой фаз

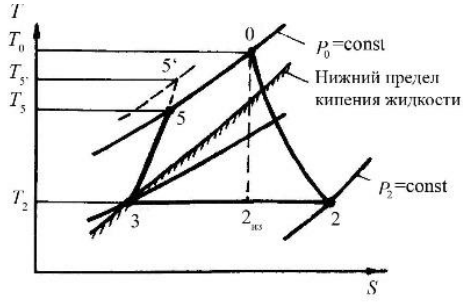


Рис. 5. *T-S* диаграмма процесса течения жидкости в струйном парожидкостном насосе разделительного типа

В парожидкостном насосе (см. рис. 4) жидкость охлаждается в струйном аппарате в результате испарения части её в сопле *1* и удаления пара из парожидкостной смеси в разделителе – кольцевом центробежном канале *2*, в котором капли жидкости за счёт центробежной силы отбрасываются к периферии. В диффузорном канале *3* происходит восстановление давления оставшейся жидкости, которая отводится через патрубок *4* с расходом $\dot{m}_{ж}$, а испарившаяся часть жидкости с расходом $\dot{m}_{п}$ отводится через патрубок *5*. Рабочий процесс устройства представлен на *T-S* диаграмме (рис. 5). В сопле *1* (см. рис. 4) поток двухфазной жидкости расширяется до давления p_2 (см. рис. 5, линия *0-2*). Если затем, не изменяя значительно скорости потока и его параметров, изобарически разделить фазы, то в сечении *3-3* устройства движущаяся жидкость будет иметь температуру $T_3 = T_2$, которая < T_0. Пар с той же температурой и при том же давлении p_2 отводится из системы через выхлопной патрубок *5*.

Далее в диффузоре *3* динамическое давление отделённой жидкости восстанавливается в статическое (процесс *3-5*, см. рис. 5). При соответствующем выборе давления на срезе сопла можно обеспечить $p_5 = p_0$ и жидкость будет иметь более низкую температуру $T_5 < T_0$. Минимальный расход $\dot{m}_{п}$ реализуется в случае изоэнтропного расширения (процесс $0\text{-}2_{из}$). Потери жидкости из-за неидеального разделения будут выше, чем в схеме с промежуточной ёмкостью. Однако в данном случае процесс протекает непрерывно, возможно получение насосного эффекта и можно обеспечить $p'_5 \rangle p_0$. Это позволяет замкнуть гидравлический контур питания насоса и увеличить ресурс испытания насоса.

Схема стендовой ЭУ для испытания насоса, перекачивающего низкотемпературную жидкость с циркуляционным контуром питания, представлена на рис. 6 [2].

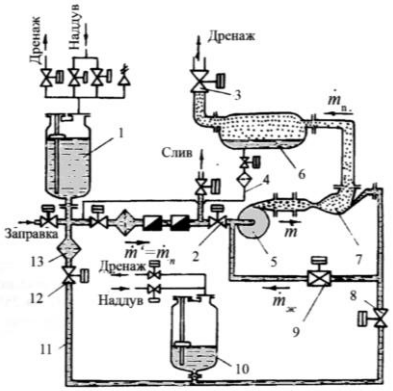


Рис. 6. Схема стендовой ЭУ для испытания насоса окислителя с циркуляционным контуром питания:
1 – топливный бак; *2* – клапан подачи; *3* – дренажный клапан; *4* – магистраль слива конденсированной части жидкости; *5* – испытуемый насос; *6* – дренажная емкость; *7* – струйный парожидкостный насос; *8* – клапан слива; *9* – дроссельный клапан; *10* – сливной бак; *11* – магистраль возврата жидкости в бак; *12* – клапан; *13* – фильтр

Установка включает бак *1,* криогенная жидкость через клапан *2* поступает в испытуемый насос *5*. Жидкость, проходя через струйный парожидкостный насос *7* и открытый клапан 8, поступает в сливной бак *10*. После завершения захолаживания системы насос *5* запускается, например, включением электропривода или газового привода от ГГ (на схеме не показаны). Циркуляционный контур включается открытием клапана *9*, затем клапан слива *8* закрывается. При этом в парожидкостном струйном насосе происходит разделение фаз: паровая фаза отводится в дренажную ёмкость *6*, а жидкая фаза по замыкающему контуру, через диффузорный канал и клапан *9* возвращается на вход в насос.

Общий расход двухфазного компонента, проходящий через насос:

$$\dot{m} = \dot{m}_{ж} + \dot{m}_{П}, \qquad (1)$$

где $\dot{m}_{ж}$, $\dot{m}_{П}$ – расходы жидкой и паровой фаз двухфазного потока.

Эффективность циркуляционного контура определяется коэффициентом возврата ($K_{в}$), равным отношению расхода жидкости через диффузор *3* к расходу двухфазного потока через сопло *1*, см. рис. 6:

$$K_{в} = \frac{\dot{m}_{ж}}{\dot{m}}, \qquad (2)$$

который может достигать 0,9 при перекачивании жидкого кислорода и 0,6…0,7 – при перекачивании жидкого водорода.

Продолжительность испытания при этом определяется расходом компонента из бака *1* ($\dot{m}'$), равным расходу пара ($\dot{m}_{П}$).

Внедрение ЭУ с циркуляционным контуром питания на стенде НИЦ РКП позволило увеличить продолжительность испытаний насосов окислителя ЖРД РД0120 на жидком кислороде с 100 до 600 с без увеличения объёмов расходных и сливных ёмкостей [2]. Лимитирующим звеном при испытаниях являлась мощность электропривода, обеспечившая испытания насосов на 50 % режиме. Более предпочтительным является турбинный привод с питанием турбины газом (см. рис. 3) или газом, вырабатываемым ГГ.

ЭУ для испытания ТНА с подачей компонентов в ГГ насосами и с ресиверной схемой запуска показана на рис. 7.

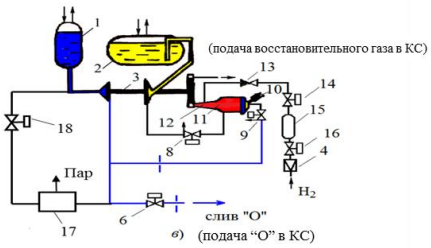


Рис. 7. ЭУ с СП компонентов в ГГ от испытуемых насосов ТНА:
1, 2 – емкости с $O_{2ж}$ и $H_{2ж}$; *3* –ТНА; *4* – редуктор; *6, 14, 16* и *18* – клапаны;
8, 9 – клапаны подачи «О» и «Г» в ГГ; *10* – $ПЗУ_{ГГ}$; *11* – ГГ; *12* – газоввод;
13 – клапан обратный; *15* – ресивер; *17* – разделитель двухфазного потока

Данная схема испытания была внедрена на стенде НИЦ РКП.

Выводы

1. Насосные системы подачи КРТ могут обеспечить значительно большую продолжительность испытаний на стенде при применении циркуляционных контуров питания и систем запитки ГГ привода ТНА от испытуемых насосов.

2. Использование циркуляционного контура в СП насосов и ТНА с применением сепарационных устройств позволяет увеличить продолжительность испытаний систем двигателя. При этом коэффициент возврата жидкого кислорода при испытаниях составляет 0,9, а жидкого водорода – 0,6-0,7.

3. Внедрение ЭУ с циркуляционным контуром питания на стенде НИЦ РКП позволило увеличить продолжительность испытаний насосов окислителя двигателя РД0120 на жидком кислороде с 100 до 600 с.

4. Схемы ЭУ с насосной СП с питанием ГГ компонентами от насосов ТНА рекомендуются к внедрению при отработке СП перспективных двигателей РД0146 и РД0150 для ракет-носителей «Ангара-А5» и «Ангара-А5В».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Галеев А.В.* / Оптимизация схем и режимов заправки вытеснительной системы подачи компонентов ракетного топлива для испытаний камеры сгорания ЖРД // Труды МАИ, 2016, № 86, 18 с.

2. *Галеев А.В., Галеев А.Г., Родченко В.В.* / Схемы ЭУ с насосной СП компонентов для испытаний агрегатов ДУ // Междунар. науч. журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2016. № 9-10, с. 82 - 94.

EXPERIMENTAL UNITS WITH PUMP-FEED SYSTEM COMPONENTS FUEL FOR TESTING OF UNITS PU RSS

Galeev A.
galant1992@mail.ru
Scientific adviser: V. Rodchenko, Doctor of Engineering, Professor
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

The creation of advanced rocket engines requires a large amount of tests of combustion chambers and gas generators in the experimental units (EU) with a pressure and pump-feed systems components of rocket fuel. The article describes the experimental units with the use of turbopump assembly (TPA) with recirculating and closed loops of cord and different power schemes gas generator turbine drive unit, the recommendations for stabilization startup and modes of testing.

УДК 519.6, 621.45

ОБОСНОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ МИШЕНИ В ВОЗДУХЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЯГИ, СОЗДАВАЕМЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ОПТИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ

Зиганшин Б.Р., Александров Ю.Б., Сочнев А.В.
brziganshin@gmail.com
Научный руководитель: А.Г. Саттаров, д.т.н., профессор
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева - КАИ, Казань

В работе дается сравнение коэффициента аэродинамического сопротивления закрытой цилиндрической мишени и полой цилиндрической мишени, открытой с торцевой стороны. Коэффициент аэродинамического сопротивления известен для цилиндра и необходим для сопоставления с коэффициентом аэродинамического сопротивления полой цилиндрической мишени, открытой с торцевой стороны. Данная оценка необходима для проведения последующих расчетов тяги цилиндрической мишени при импульсном оптическом разряде лазера.

Человечество вступает в новую эру - информационную, и одним из аспектов этой эры является освоение космического пространства для своих нужд - съемка, передача сигнала и прочие задачи [1]. Соответственно, встает вопрос об увеличении количества запусков спутников (в т.ч. и наноспутников до 25 кг) [2]. Кроме того, встает вопрос о межпланетных экспедициях, где расстояния довольно значительны, поэтому возникает идея об использовании двигателей иных типов отличных от химических, например, лазерных ракетные двигатели (ЛРД) [3].

Ю.А. Резунков в своей работе [4] сравнивая ЛРД, выделяет 3 основных группы: лазерные воздушно-реактивные двигатели, лазерная тяга на основе абляции твердых материалов и лазерно-химические реактивные двигатели.

Одним из вариантов ЛРД может стать двигатель с цилиндрическим соплом, когда лазерный оптический разряд пробивает воздух примерно на середине цилиндрического сопла.

Для применения цилиндрического сопла в ЛРД необходимо произвести оценку коэффициента аэродинамического сопротивления подобной мишени с целью ее дальнейшей модернизации и доработки. В работе [5] приведен коэффициент полного сопротивления для цилиндра при обдувке цилиндра потоком, направленном вдоль оси. Эти данные были приняты для сопоставления результатов.

Проведенные опыты с цилиндрическим соплом показали скорость исходящего потока, создаваемым импульсным оптическим разрядом лазера, примерно несколько десятков м/с [6, 7]. Для численных расчетов была принята скорость потока 20 м/с.

Экспериментальная модель полого цилиндра имела следующие геометрические размеры: длина 12 мм (L), диаметр 4 мм (D), радиус 2 мм (R), толщина стенки 0,15 мм.

Данные габариты имели соотношение L/D =3 и соответственно L/R = 6 и были приняты в качестве базовых для численных расчетов с числом $Re \approx 5300$.

Для численного расчета была поставлена цель: выяснить величину расхождения по коэффициенту аэродинамического сопротивление при обтекании цилиндра продольным потоком воздуха и полого цилиндра с открытой торцевой стенкой сзади. Для расчета такого случая подходит двумерная постановка, так как исследуемая фигура представляет собой фигуру вращения относительно центральной оси. В качестве дополнительного расчетного случая возможен анализ трехмерной модели в полной или симметричной постановке. Самый простой вариант с точки зрения создания сетки и быстроты расчета является двумерный осесимметричный, его результаты и будут рассмотрены далее [8, 9].

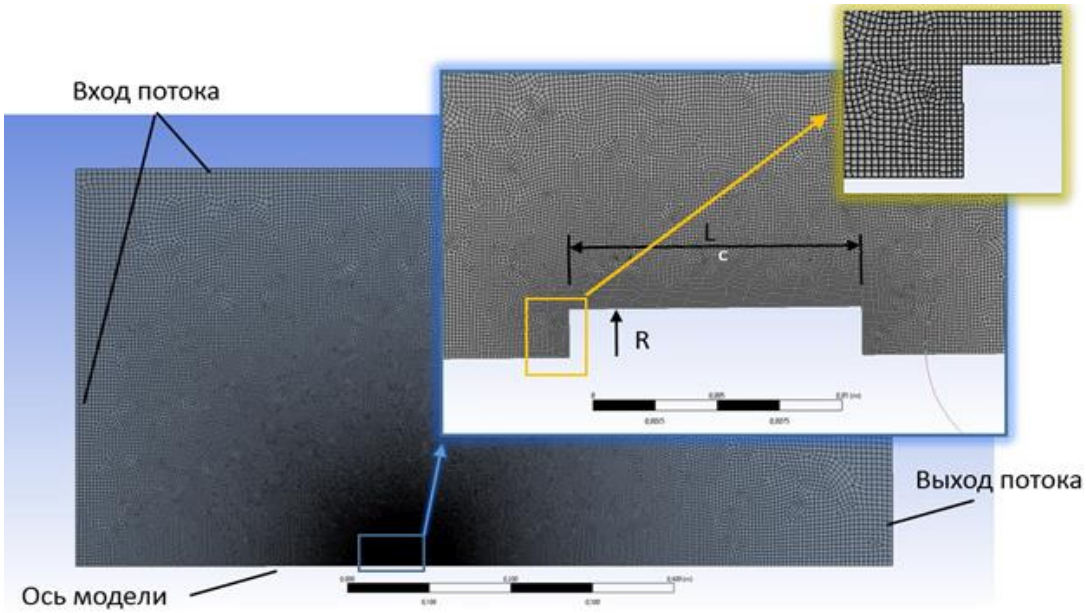


Рис. 1. Внешний вид и укрупненный фрагмент сетки двумерной осесимметричной модели с нанесенными характерными размерами и граничными условиями

Расчётная область должна быть достаточно большой, чтобы возмущения при обтекании не доходили до ее границ. Была принята область по вертикали 250·R обтекаемого тела и по горизонтали до цилиндра 32·L и после цилиндра 50·L. Внешний вид модели с характерными размерами показан на рис. 1. Размеры самого цилиндра были выбраны соотношением L/R=6. В качестве граничных условий на входном ребре и горизонтальном с внешней стороны области было задано условия скорости потока, а на выходном ребре из расчетной области контроль постоянства статического давления. По нижней границе модели, направленной вдоль оси X была задана ось модели, а на стенке обтекаемого тела условие прилипания. Расчётная сетка создавалась структурированной из квадратных элементов. Задавался характерный размер на стенке цилиндра, максимальный на периферии расчетной области и фактор роста сетки 1,1. Было создано несколько сеток отличающихся степенью измельчения с количеством сеточных элементов от 8 до 230 тыс. элементов для соотношения L/R=6. В качестве подвижной среды принят воздух при 20 град., влияние сжимаемости не учитывалось в виду малых скоростей потока (W < 0.3M, то есть скорость набегающего потока меньше 0,3 числа Маха). Численные расчеты по определению коэффициента аэродинамического сопротивления проводились в программном обеспечении ANSYS Fluent (Academic) V19.2. Как показал дальнейший расчет степень измельчения сетки во внешней области не вносит влияние в значение получаемого коэффициента сопротивления. Основное сеточное влияние выявлено при измельчении сетки в пристеночной области. Существует несколько способов обеспечения измельчения сетки вблизи стенки: использование пограничного слоя с различными размерами начальной ячейки и организация адаптации сетки путём ее измельчения в два раза.

Для расчета была выбрана адаптация по числу y+ с целевым значением единица. Это параметр, позволяющий оценить качество сетки. При y+ = 1 сетка приближается к идеальному случаю, при котором в пограничном слое, вблизи стенки, окажутся несколько расчетных узлов. Это дает возможность учитывать влияние пограничного слоя. При каждой адаптации сетка измельчалась в два раза вблизи стенки. Было проведено четыре последовательных адаптации сетки приближающих параметр y+ к единице. Выявлено, что после четвертой адаптации результаты расчета начинают искажаться и нет смысла дальнейшего измельчения сетки. По всей видимости, это связано с численной ошибкой, так как размер адаптивной сетки при делении пополам меняется более чем на 20%, что приводит к искажению получаемых результатов.

Для чисел Re ≈ 5300 при расчете в двумерной осесимметричной постановки наилучшие результаты были получены с моделью турбулентной вязкости *k-w* SST (при сопоставлении с другими моделями). При использовании этой модели вязкости значение коэффициента аэродинамического сопротивления приближается к экспериментальному значению 0,77 [4], что видно на рис. 2.

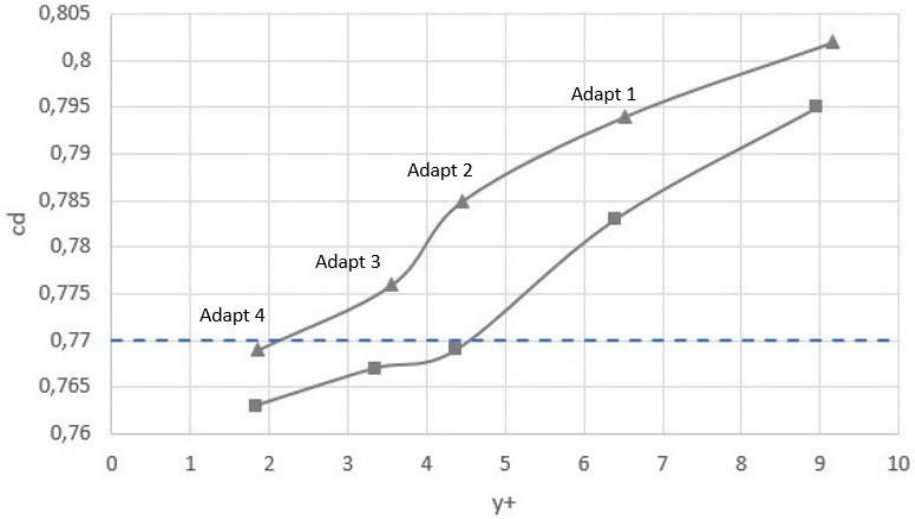


Рис. 2. Зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления от степени измельчения сетки в области стенки при двумерной осесимметричной постановке и моделью *k-w* SST при обтекании с числами Re≈ 5300: —■— - цилиндра; —▲— - цилиндра с открытой торцевой стенкой сзади

Для проверки зависимости от числа Re моделировалось течение с разными масштабами обтекаемого тела при неизменном соотношении L/R=6 и пропорций внешней области обтекания, при этом сохранялась мелкая сетка в области стенки за счет сильного увеличения количества сеточных элементов. При выборе размеров цилиндра и скорости набегающего потока избегались сверхзвуковые эффекты, скорость не превышала 35 м/с. Расчет показал, значение коэффициента равняется 0,825, что на 4 % выше, чем для цилиндра с закрытой стенкой, для числа при числе Re ≈ $3.6 \cdot 10^5$. Это значение практически не менялось при изменении числа y+ сетки.

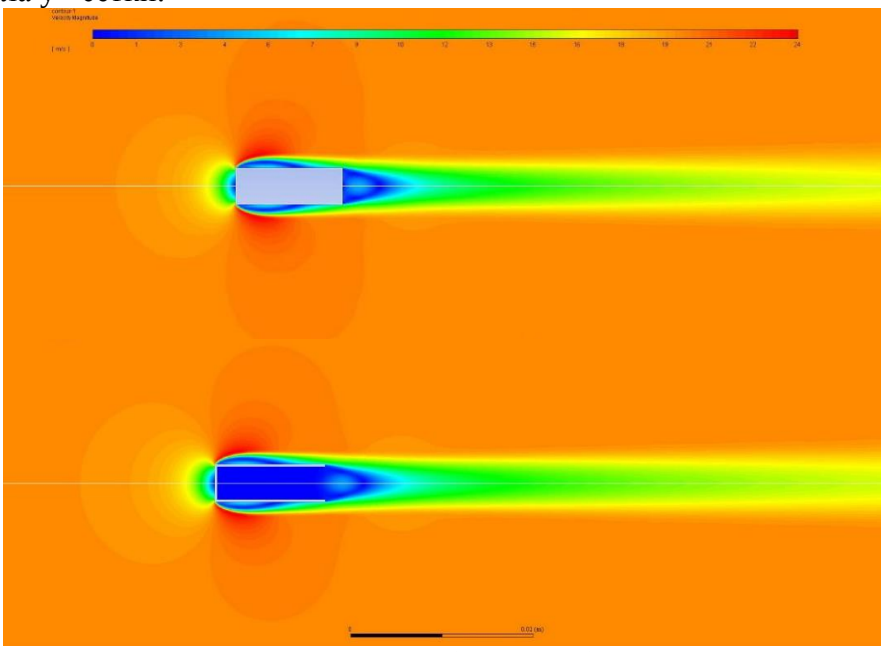


Рис.3. Поля скоростей для исследуемых объектов. Сверху – цилиндр, снизу цилиндр с открытой задней торцевой стенкой

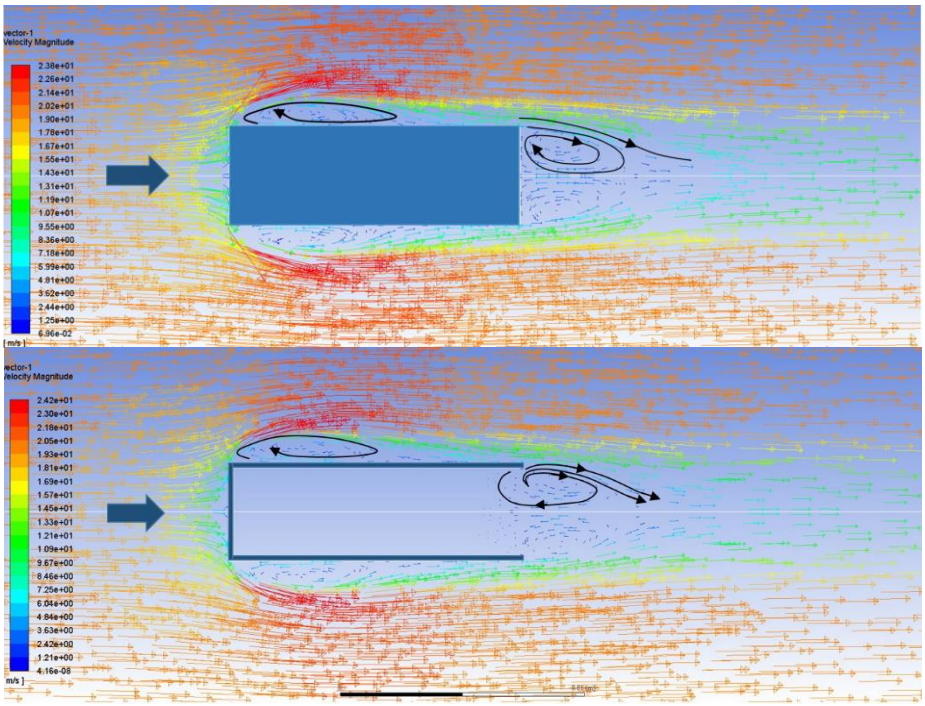


Рис. 4. Векторные поля для исследуемых объектов. Сверху – цилиндр, снизу цилиндр с открытой задней торцевой стенкой. При увеличении скорости вектор приближается к красному цвету.

В качестве выводов можно отметить, что материал содержит общие рекомендации, которые могут пригодиться для инженерной практики в области аэродинамического расчета при обтекании цилиндра. Полученные результаты численного расчета показывают, что применение различных способов детализации сетки дают схожий результат, описываемый разбросом данных не более 5%. Из этого следует, что коэффициент аэродинамического сопротивления цилиндра с открытой задней торцевой стенкой будет примерно равен коэффициенту аэродинамического сопротивления цилиндра, и при инженерных расчетах оценки тяги, создаваемый импульсным оптическим разрядом от лазера, и влияния сопротивления на движения цилиндра погрешностью можно пренебречь, следовательно коэффициент сопротивления принять равным 0,77. В данном материале обосновывается оценка коэффициента аэродинамического сопротивления для дальнейшего использования при расчете тяги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Данилкин А.П., Козлов В.А.* Мировые тенденции развития малых спутников // Экономические стратегии. 2016. №. 6. С. 136-149.

2. Список космических запусков [Электронный ресурс]: Материал из Википедии — свободной энциклопедии. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org. (дата обращения 13.06.2019)

3. *Бикмучев А.Р., Сочнев А.В.* Лазерный ракетный тепловой двигатель для микро- и наноспутниковых космических систем нового поколения // В сборнике: XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых). Межд. молод. науч. конф.: Материалы конф.. Сб. докладов: в 4 томах. 2017. С. 1055-1058.

4. *Резунков Ю.А.* Лазерная реактивная тяга // Изв.ВУЗов.Приборостроение, Т. 54, №. 2, 2011. С. 7-12.

5. *Горлин С.М.* Экспериментальная аэромеханика. Москва: Высшая школа, 1970. С. 345-346

6. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В.* Исследование составляющих лазерной реактивной тяги при помощи уравнения регрессии второго порядка // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 1. С. 32-39.

7. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В., Бикмучев А.Р.* Измерение импульса реактивной силы, создаваемый импульсным оптическим разрядом при помощи баллистического маятника // Труды Академэнерго. 2015. № 1. С. 75-82.

8. *Сабирзянов А.Н., Тихонов О.А., Александров Ю.Б., и др.* Математическая модель рабочего процесса камеры сгорания малоразмерного ГТД с вращающейся форсункой // В сборнике: Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Всероссийская науч.-практ. конф. с международным участием. 2018. С. 192-196.

9. *Александров Ю.Б., Вафин И.И., Мингазов Б.Г.* Исследование формирования температурных полей в камерах сгорания газотурбинных двигателей // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. № 1 (73). С. 9.

10. *Александров Ю.Б., Сабирзянов А.Н., Явкин В.Б.* Влияние упрощения геометрической модели камеры сгорания газотурбинного двигателя на результаты численного моделирования // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2017. № 4. С. 90-96.

JUSTIFICATION OF THE COEFFICIENT OF AERODYNAMIC RESISTANCE OF A CYLINDRICAL TARGET IN AIR FOR ESTIMATING THE DRIVE CREATED BY A PULSE OPTICAL DISCHARGE

Ziganshin Bulat, Aleksandrov Yuriy, Sochnev Aleksandr

brziganshin@gmail.com

Supervisor: Albert Sattarov, Doctor of Technical science, professor

Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev – KAI, Kazan

This paper compares the aerodynamic drag coefficient of a closed cylindrical target and a hollow cylindrical target, open from the end. The drag coefficient is known for the cylinder and is required for comparison with the drag coefficient of a hollow cylindrical target, open end. This assessment is necessary for the subsequent calculations of the thrust of a cylindrical target with a pulsed optical discharge of a laser.

УДК 621.45.022.5

МНОЖЕСТВЕННЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ РАЗРЯД ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТЕОРИИ ЛАЗЕРНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ И МНОГОТОЧЕЧНОМУ ПОДЖИГУ

Зиганшин Б.Р., Сочнев А.В., Кириченко Д.С.

brziganshin@gmail.com

Научный руководитель: А.Г.Саттаров, д.т.н., профессор

Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н.Туполева - КАИ, Казань

В работе демонстрируется множественный лазерный оптический разряд. Одна из возможных сфер применения лазерного оптического разряда - это лазерный ракетный двигатель, применимый для вывода наноспутников, а также многоточечное воспламенение топлива, что позволит увеличить КПД и улучшить характеристики горения и двигателя.

Оптический разряд (ОР) — это вид высокочастотного разряда в газах, наблюдающегося для частот излучения, лежащих в оптическом диапазоне [1].

Одним из вариантов лазерного ракетного двигателя может быть двигатель, использующий множественный оптический разрядов, что увеличивает долю поглощенной лазерной энергии, как известно ОР поглощает порядка 50% лазерной энергии [2-6]. Также перспективным направлением будет многоточечный поджиг топлива [7-11]. Такой способ

поджига позволяет создать объемную зону воспламенения за счет того, что точек горения будет несколько, соответственно уменьшая время сгорания топлива в камере сгорания, что актуально для горючих с медленной скоростью горения, например, метана.

Если рассмотреть распространение лазерного луча (рис.1), то вблизи точки фокуса F лазерный луч начинает отклоняться от угла схождения (тонкая линия), образуя так называемую перемычку (толстая линия). Поэтому в области, ограниченной пунктирной линией, создаются условия возникновения нескольких ОР.

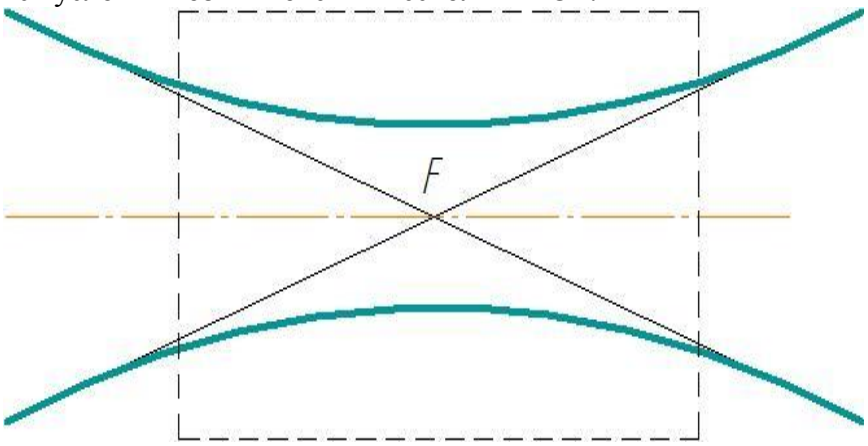


Рисунок 1 — Схема распространения лазерного луча, где F точка фокуса

На рис.2 изображен процесс множественного оптического разряда, снятого на высокоскоростной камере шлирен-методом. Для эксперимента использовался лазер с длиной волны 1064 нм, энергия 0,35 Дж, диаметр луча 8 мм, собирающая линза с фокусным расстоянием 130 мм.

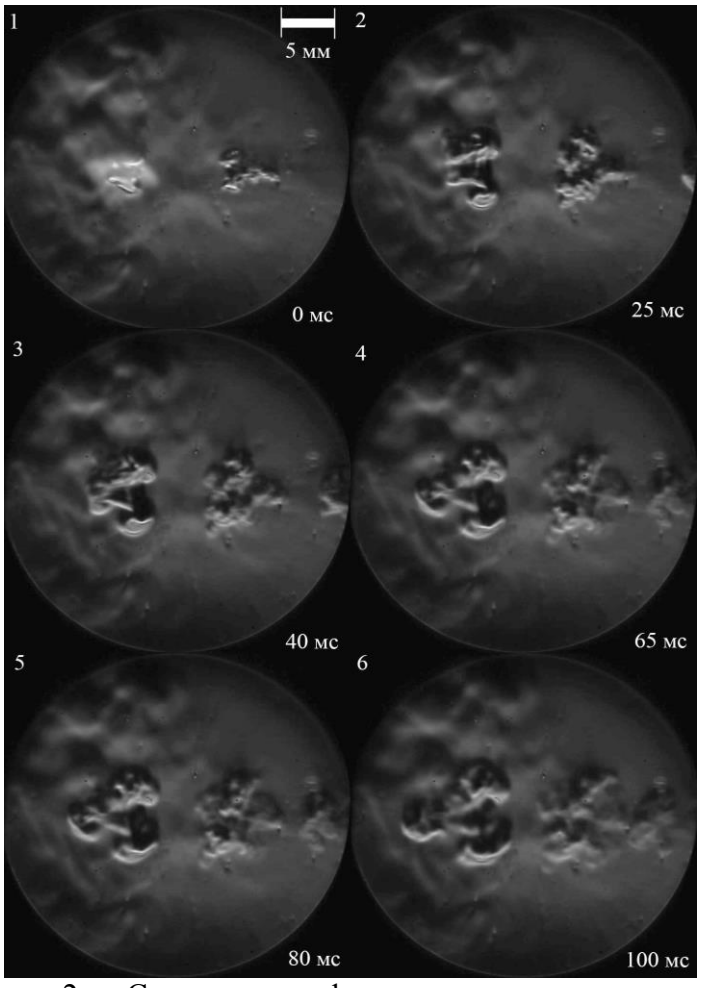


Рисунок 2 — Снимки многофокусного оптического разряда

Начальный момент времени (рис. 2, снимок 1) снят примерно после 1 мкс от разряда, и будет считаться точкой отсчета для всех остальных процессов. Время остальных процессов указано накопленным итогом относительно процесса 1. Как видно из рисунка 2 в начальный момент времени видны 2 ОР, созданных одним лазерным импульсом. Их размер примерно 5-6 мм в диаметре. В этих областях произошел оптический пробой. Далее в (2) и (3) шло активное развитие и уже примерно после 50 мс «облако» начинает рассеиваться и в дальнейшем область начинает распадаться и затухать. Таким образом получается, что активная фаза всего процесса происходит в диапазоне от 0 до примерно 65 – 70 мс, а далее уже идет рассеивание «облака».

В качестве вывода отметим, что несмотря на получение данного результата в эксперименте остается его воспроизводимость и тестирование уже в реальной камере сгорания и синхронизация с подачей топливно-воздушной смеси для достижения наилучшего КПД. Кроме того, создание портативной версии лазера намного упростит проведение эксперимента с реальным стендовым образцом камеры сгорания, поскольку именно для эксплуатации и даже проведения испытаний нужен портативный лазер, питание которого обеспечивается бортовой сетью, и который в ходе эксплуатации будет стабильно показывать необходимый КПД вне зависимости от погодных условий и иных факторов, отсутствующих в лаборатории, но существующих в реальных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Райзер Ю.П.* Физика газового разряда. — М.: "Наука" Физматлит, 1987. — 592 с.
2. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В.* Исследование составляющих лазерной реактивной тяги при помощи уравнения регрессии второго порядка // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 1. С. 32-39.
3. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В.* Измерение продолжительности импульса оптического разряда в воздухе и на модели СНО-состава для оценки мощностных параметров и режима работы импульсного лазера // Труды Академэнерго. 2016. № 3. С. 133-140.
4. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В., Бикмучев А.Р.* Измерение импульса реактивной силы, создаваемый импульсным оптическим разрядом при помощи баллистического маятника // Труды Академэнерго. 2015. № 1. С. 75-82.
5. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В., Бикмучев А.Р.* Статическая устойчивость по угловому движению летательного аппарата со штыревым коническим соплом на лазерной тяге // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2018. № 2. С. 142-145.
6. *Сочнев А.В.* Импульсный лазерный ракетный двигатель с тягой 0,1 - 0,01 Н // В сборнике: Управление движением и навигация летательных аппаратов Сборник трудов XVII Всероссийского семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов. Науч. ред. Балакин В. Л.. 2015. Самара. С. 166-167.
7. *Саттаров А.Г., Зиганшин Б.Р., Сочнев А.В.* Анализ развития лазерных систем зажигания в автомобильной, авиационной и ракетно-космической отрасли в России // В сборнике: Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Всероссийская науч.-практ. конф. с международным участием. 2018. Казань. С. 406-409.
8. *Хафизов И.Г., Сочнев А.В.* Исследование влияния лазерной системы зажигания на основе импульсного оптического разряда на характеристики двигателя внутреннего сгорания "метан+воздух" // В книге: Проблемы тепломассообмена и гидродинамики в энергомашиностроении. Материалы X школы-семинара молодых ученых и специалистов академика РАН В.Е.Алемасова. 2016. Казань. С. 378-382.
9. *Хафизов И.Г., Сочнев А.В., Саттаров А.Г.* Авиационная лазерная свеча // В сборнике: Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности Международная науч.-практ. конф.. 2014. Казань. С. 51-53.

10. *Саттаров А.Г., Лунев А.Н., Сочнев А.В. и др.* Воспламенение топливной смеси метан+воздух в камере двигателя внутреннего сгорания лазерным оптическим разрядом // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2014. № 3. С. 75-78.

11. *Сочнев А.В., Хафизов И.Г., Саттаров А.Г.* Воспламенение смеси метан+воздух в двигателе внутреннего сгорания лазерным оптическим разрядом // В сборнике: Международная молодежная науч. конф. "XXI Туполевские чтения (школа молодых ученых)" Материалы конф., 2013. Казань. С. 291.

MULTIPLE OPTICAL DISCHARGE RELATING TO THE THEORY OF LASER ROCKET ENGINE AND MULTIPOINT IGNITION

Ziganshin Bulat, Sochnev Aleksandr, Kirichenko Dmitriy

brziganshin@gmail.com

Supervisor: Albert Sattarov, Doctor of Technical science, professor

Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev – KAI, Kazan

The paper demonstrates multiple laser optical discharge. One of the possible applications of a laser optical discharge is a laser rocket engine, applicable for the output of nanosatellites, as well as multipoint ignition of fuel, which will increase the efficiency and improve the combustion and engine performance.

УДК 621.375.826:629.7.036.54

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В КЛА С МАЛОЙ НАЧАЛЬНОЙ МАССОЙ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ ЭНЕРГИИ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ

Калмыкова А. С., Царева Е. В.

kalmykovasasha2000@gmail.com, katyatsaryeva@mail.ru

Научный руководитель: А. Г. Саттаров, доцент, профессор

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева - КАИ, г.Казань)

Интерес к малым спутникам, первоначально – в массовом классе около тонны и ниже, проявился давно. Интерес был связан с возможностью снижения стоимости запуска за счет использования современных технологий. Существующий в настоящее время научно-технический задел позволяет уже в ближайшее время создать микро- и нано-космические аппараты (КА), решающие широкий круг задач. Таким образом, существует принципиальная возможность удовлетворения возникающих новых потребностей в информатизации общества, что позволяет перейти в деле освоения космического пространства на новый технологический уровень и превратить космос в реальную практически используемую сферу деятельности человечества.

Предпосылками для решения в настоящее время задачи уменьшения массы и габаритов космических аппаратов являются достигнутые в начале XXI в. успехи в области миниатюризации электроники, микромеханики, нанотехнологий, широкое развитие новых методов проектирования, создание высокопроизводительных прецизионных автоматических линий производства элементов, деталей и узлов с использованием компьютерных технологий, включая аддитивные технологии на основе использования 3D-принтеровАктуальность создания КА:

1. Необходимость активного использования космической сферы для обеспечения национальной безопасности.
2. Необходимость обеспечения требований по глобальности, непрерывности и оперативности получения информации для формирования единого информационного пространства.
3. Необходимость сокращения затрат на развертывание и восполнение космических систем.

В соответствии с принятой в техническом сообществе классификацией малые космические аппараты (КА) подразделяются по массе на несколько классов: малые КА ≤1000 кг, мини-КА 500–100 кг, микро-КА 100–10 кг, нано-КА 10–1 кг, пико-КА 1 кг — 100 г, фемто-КА ≤100 г.

Нано-КА применяются прежде всего с целью отработки новых технологий в космосе: доля решения этих задач в общем объеме задач, решаемых нано-КА, составляет до 85%, в то время как на долю задач в интересах научных исследований приходится 11%, остальное — на прочие задачи.

В задачах, решаемых микро-КА, 46% приходится на отработку новых технологий в космосе, 23% — на задачи дистанционного зондирования Земли, 19% — на обеспечение связи и телекоммуникаций, 8% — на проведение научных исследований, остальное — на прочие задачи. В задачах, решаемых мини-КА, 18% приходится на отработку новых технологий в космосе, 23% — на задачи дистанционного зондирования Земли, 23% — на обеспечение связи и телекоммуникаций, 21% — на проведение научных исследований, остальное — на прочие задачи.

Программой, которая могла бы всерьез активизировать производство малогабаритных КА является система перехватчиков BP-LEAP (Lihtweidht-ExoAtmosphericProjectile). Каждый аппарат BP с длиной ~ 1 м и массой 45 кг будет выводиться по несколько единиц одним носителем и размещаться глобально на орбитах высотой примерно 460 км.[104].

В Ренсселееровском политехническом институте (Rensselaer Polytechnic Unstitute) разрабатывается проект легкого космического аппарата, выводимого на околоземную орбиту с помощью лазерного луча, который направляется на него с наземной установки .По мнению авторов проекта, создание КЛА, получившего название «Лайткрафт» (Lihtcraft), позволит снизить расходы на выведение в космос объектов в 1000 раз по сравнению с МТКК «SpaceShuttle».

КА «Лайткрафт» разгоняется в два этапа:

-на первом этапе посылаемый с наземной станции лазерный луч отражается от зеркала и фокусируется внутри кольцеобразной оболочки, вызывая резкое повышение давления. Истекающий под действием высокого давления воздух создает реактивную тягу;

-второй этап разгона начинается на высоте 30 км при скорости, соответствующей числу Маха- M= 5. Рабочее тело (жидкий азот, водород или воздух) подается в зону фокусировки лазерного луча, нагревается и истекая создает силу тяги. Аппарат выходит на околоземную орбиту на скорости, соответствующей M = 25.

Наземное лазерное устройство и опытный образец КА могут быть созданы на современной элементной базе. Аналогичный аппарат в РФ разработан в 2006 году в НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов (г.Сосновый Бор Ленинградской области, научный руководитель - д.т.н. Ю.А.Резунков.

Дальнейшее развитие мощных волоконных и CO_2- лазеров ставит перед исследователями задачу их эффективного использования в различных энергетических установках, например в лазерных системах реактивной тяги на основе ЛРД, которые предназначены для использования в системах ориентации и стабилизации орбитальных КЛА, в разгонных блоках, в средствах выведения с малой начальной массой, в крупногабаритных космических транспортно - энергетических модулях с ядерной установкой.

Тенденция, направленная на повышение энерговооруженности современных орбитальных КЛА, в частности, создание космических аппаратов на основе использования ядерных реакторов с мощными бортовыми источниками питания, существенно упрощает реализацию концепции использования лазерной энергии для получения тяги. Применение лазерных систем реактивной тяги в крупногабаритных космических объектах, где двигатель и источник энергии пространственно разделены, является наиболее эффективным, так как передача энергии к реактивному двигателю, в данном случае, осуществляется без силовых кабелей, отсутствует необходимость использования тяжелых магнитных ускорителей, что приводит к снижению массы конструкции КА.

В современных ракетных двигателях (РД) космических летательных аппаратов в качестве основного источника энергии используется тепло, выделяемое в результате химических реакций, например, при сгорании горючего в среде окислителя. Количество выделяемого тепла, следовательно, и температура рабочего тела в камере сгорания РД при таком способе нагрева ограничены, что не позволяет достичь дальнейшего увеличения удельного импульса $I_{уд}$.

Сравнительно низкое значение $I_{уд}$ РД, работающих на химическом топливе, является главной причиной недостаточной эффективности современной транспортной ракетно-космической техники. Например, 85% от начальной массы транспортной космической системы «Space Shuttle» составляет запас топлива.

В таблице 1 приведены характеристики ракет-носителей и транспортных космических систем различных стран – разработчиков космической техники. Анализ развития ракетно-космических транспортных систем по характеристикам $M_{пн}/ M_0$, C (где $M_{пн}$–масса полезной нагрузки, выводимой на околоземную орбиту, M_0 – начальная масса РН или ТКС, C – стоимость вывода полезной нагрузки на околоземную орбиту) показывает, что после создания РН «Сатурн – V», существенного улучшения технико-экономических показателей РН не наблюдается (см. рис. 1). Дальнейшее увеличение материальных затрат и совершенствование этих систем становится малоэффективными.

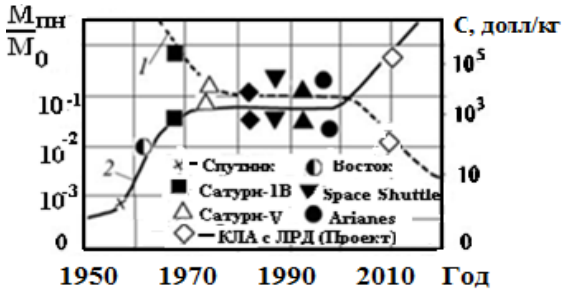


Рис. 1. Технико-экономические характеристики РН и ТКС: 1-стоимость полезной нагрузки, С; 2-транспортная эффективность РН и ТКС, $M_{пн}/M_0$.

Средства вывода полезной нагрузки на околоземную орбиту с использованием традиционных ЖРД и РДТТ достигли пределов своего развития и согласно законам развития технических систем необходимо осуществить переход к принципиально новой системе, позволяющей сделать значительный качественный скачок.

Использование внешних источников энергии, например энергии лазерного излучения и создание КЛА с лазерным ракетным двигателем, имеющим высокий удельный импульс, может существенно повысить технико-экономические показатели ТКС.

Расчеты показывают, что при использовании ЛРД с удельным импульсом $I_{уд}$=1000-2000 [с] можно создать РН с малой начальной массой M_0=100-300 [кг].

После выведения на орбиту космического ЛА необходимо решать задачи коррекции, ориентации и стабилизации аппарата. Предлагается для выполнения данных задач использовать орбитальные ретрансляторы, принимающие энергию лазерного излучения с наземного лазера.

Таким образом, анализ развития технических систем показывает, что исследования, направленные на разработку и создание лазерных установок реактивной тяги на основе ЛРД, обладающих более высокими энергетическими характеристиками, являются **актуальными.**

Таблица 1

Характеристики РН и ТКС стран разработчиков космической техники [1]-[5]

Название РН или ТСК	Страна разработчик	Готовность, год	M_0,[Т]	Полезная нагрузка, [Т]			
				НО	ПО	ГО	ГСО
Спутник (РН)	СССР	1957	267	1,35	-	-	-
Восток (РН)	СССР	1961	287	4,73	-	-	-
Союз (РН)	СССР	1967	310	7,00	-	-	-
Сатурн-1 (РН)	США	1964	502	10,2	-	-	-
Сатурн-1В (РН)	США	1966	590	18,1	-	-	-
Сатурн-V (РН)	США	1967	2950	139,0	-	-	-
Space Shuttle (ТКС)	США	1984	2090[1)]	29,48	-	2,27	-
Titan 34Д7 (РН)	США	1988	880	18,0	-	4,535	-
PSLV (РН)	Индия	1990	275	3,0	-	-	1,0 [2)]
CZ3 (РН)	Китай	1987	202	3,8	1,4	-	-
H 11 (РН)	Япония	1991	255	10,0	3,8	2,0	-
Arianes (РН)	Зап.Евр.	1995	550	15,0	5,2-8,0	3,8	-

Примечание: 1) Инерциональная верхняя ступень; 2) Высокий перигей; НО – низкие околоземные; ПО – промежуточные; ГО – геостационарные; ГСО – геосинхронные орбиты.

Проведем расчет экономической эффективности внедрения транспортной космической системы с малой начальной массой M_0 =300 кг для вывода на ОИСЗ полезную нагрузку $M_{пн}$ =100 кг на основе лазерных ракетных двигателей, использующих энергию наземных CO_2 – лазеров.

Транспортная космическая система с малой начальной массой M_0 =300 кг для вывода на ОИСЗ полезную нагрузку $M_{пн}$ =100 кг на основе лазерных ракетных двигателей, использующих энергию наземных CO_2 –лазеров предполагается использовать для запуска спутников связи, ретрансляторов и различных объектов военного назначения. Средняя масса полезных грузов, необходимых для вывода на ОИСЗ составляет (50-90) кг. Средняя общая масса необходимых для вывода на ОИСЗ полезных грузов равняется (50+90)\ 2=70 кг. Общая суммарная масса всех грузов равен М=70Х200=14000 кг. Стоимость вывода 1.0 кг груза равняется 45000-65000 долл.\кг., за среднее значение примем 55000 долл.\кг Тогда суммарная стоимость вывода всех грузов равняется С=55000Х14000=770 000 000 долл., в рублевом эквиваленте приняв курс долл. 65 р., суммарная стоимость вывода грузов составит С=50 416 212 000 р., т.е порядка 50.5 млрд. р. в год. Определив расходы на проведение НИОКР по созданию ТКС на основе наземных CO_2 –лазеров ($C_{ниокр}$), расходов на топливо($C_т$), расходов на эксплуатацию(Сэ), затраты на проведение испытаний($C_{эо}$), стоимость ущерба при отказе носителя (потеря полезного груза) ($C_у$), затраты на обеспечение пуска($C_п$) можно оценить предполагаемую прибыль за 1 год эксплуатации ТКС:

$$\mathbf{П=С- (С_{ниокр}+ С_т + Сэ+ С_у + С_п)} \quad (1)$$

Таблица 2.1.1

РАСЧЕТ РАСХОДОВ НА ПРОВЕДЕНИЕ НИОКР

№	Наименование показателей	Индекс	Ед. изм.	Показатели после внедрения
1	Годовая программа изготовления деталей КЛА	Го	шт.	15000
2	Стоимость лазерного комплекса и системы наведения лазерного луча	Си	руб.	600000
3	Зарплата работников	Зв	руб.	20000
4	Мощность установки	Му	КВт	250
5	Трудоемкость обработки одной детали	Тп	мин	5
6	Количество одновременно изготавливаемых деталей	Кл	шт.	12
7	Продолжительность испытаний (запуска) лазера	Тз	мин	30
8	Колич. рабочих дней в году	Крд	дней	250
9	Коэффициент использования времени работы оборудования	Ки		0,9
10	Амортизационные отчисления	А	%	14
11	Расходы на обслуживание	Роб	%	5
12	Нормативный коэффициент	Ен		0,15
13	Транспортно-заготовительные расходы и монтажно-наладочные работы	Тзр	%	5
14	Время работы установки в день	Вд	час	8
15	Стоимость киловатт-часа		руб.	0,8
16	Процент брака		%	1

ЗАТРАТЫ ПОСЛЕ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

а) трудоемкость изготовления деталей для годовой программы

$Тг_2=Тп_2 х Го=(Тп_2 х 12 + Тз) х Го/Кл$ = (5 мин х 12 + 30 мин) х 15000/12= =1875 час.

б) капитальные вложения в производственные фонды равны балансовой стоимости оборудования:

$К_2 А_2=Си х(1+Роб/100)х(1+ Трз/100)$ = 600 000 х 1,05 х 1,05 = 661500 руб.

в) текущие затраты, складывающиеся из расходов на электроэнергию, заработную плату, представляют собой себестоимость работ.

Затраты на электроэнергию:

$Му х Тг_2$ х 0, 8 = 250 кВт х 1875 х 0,8 = 375000 руб.

Затраты на заработную плату –

$12 х Зв х Тг_2 х (1+ Кдз +Ксс+Кнр)/ (250 х 8 час)$ = 12 х 20000 руб\мес х 1875 х 2, 7/20000 = 607500руб.

Итого: $С_{ниокр}$=661500+375000+607500=1 644 000р.Лазерных систем с мощностью 250 кВт требуется для КЛА с $М_0$ =300 кг. в количестве n=3МВт\0.250 МВт=12 ед. Тогда общие суммарные затраты на создание лазерной системы составят:

$$\mathbf{С_{ниокр}= 12Х1\ 644\ 000=19\ 728\ 000\ р.= 20\ 000\ 000} \quad (2)$$

Топливо для работы 1ой ступени составляет 0 р.(окружающий воздух), для второй ступени 25% от общей массы т.е. 75 кг. Если выбрать в качестве топлива жидкий азот – стоимость топлива составит :

$$\mathbf{С_т=75х2000=150000р} \quad (3)$$

Стоимость эксплуатационных расходов составляет:

$$\mathbf{C_э=C_1 m_1 (К_{в1} +1\backslash r_1-К_{в1\backslash}r1)+C_2m_2 (К_{в2} +1\backslash r_2- К_{в2\backslash}r2),} \quad (4)$$

Где C_1, C_2—удельная стоимость единицы массы 1-ой и 2-ой ступени ДУ с ЛРД соответственно;

m_1, m_2-масса 1-ой и 2-ой ступени ДУ соответсвенно;

$К_{в1}$, $К_{в2}$-коэффициент восстановления 1-ой и 2-ой ступени ДУ соответсвенно;

r_1, r_2—средний ресурс 1-ой и 2-ой ступени ДУ соответсвенно;

Определим удельную стоимость единицы массы 1-ой и 2-ой ступени, приняв $m_1 = m_2$:

$C_1 = C_2 = C_{ниокр.}$ /2X100=20 000 000/200=100 000 р;

Коэффициенты коэффициент восстановления 1-ой и 2-ой ступени ДУ примем $К_{в1} = К_{в2} = 0.5$;

Средний ресурс 1-ой и 2-ой ступени ДУ примем $r_1 = r_2 = 2.0$, тогда из (4):

$C_э$=10 000x100 (0.5+0.5-0.25)+ 10 000x100+(0.5+0.5-0.25)=1 000 000 x 0.75= 750 000 р.

Стоимость ущерба при отказе носителя с потерей полезного груза при надежности системы 0.99 на 200 случаев составляет 2. Суммарная масса потерянного груза 70X2=140 кг, что составит 140x55000 = 770000 долл, в рублевом эквиваленте составит 50 416 212 р., примем:

$C_у$=50 500 000 млн.

Затраты на обеспечение пуска составляют:

$$\mathbf{(C_1 m_1 + C_2m_2)NK_{ам}\ ,} \quad (5)$$

где: **N**- количество пусков в год, **N=200**

$K_{ам}$ – коэффициент амортизации **$K_{ам}$=0.1, тогда затраты на 1 пуск составят $(C_1 m_1 + C_2m_2)NK_{ам}$=(10 000x100+10 000x100)200x0.1=400 000 р., на 200 пусков 80 000 000 р**

Итого расходы:

$C_{ниокр}+ C_т + Cэ+ C_у + C_п$ = 20 000 000 + 150 000+750 000+50 500 000+ 80 000 000 =151 400 000 р.

Прибыль за 1 год составит:

П=С- ($C_{ниокр}+ C_т + Cэ+ C_у + C_п$)= =50 416 212 000-151 400 000 =151 400 000 р. Прибыль за год эксплуатации составит 151 милл. 400 тысяч р.

Исходя из всего вышесказанного можно прийти к выводам:

Сегодня разработка малых космических аппаратов на базе унифицированных платформ является важнейшим направлением работ почти всех российских конструкторских организаций в области космической техники. Имеется и значительный потенциал, который позволяет реализовать на их основе много интересных проектов.

От использование малых КА ожидается не менее $1-1,5 млн. чистой прибыли. В США опубликован доклад с коммерческим прогнозом развития мирового рынка КА военного назначения. В 2012 году этот сегмент космической отрасли оценивался в 11,8 млрд. долл. Авторы доклада считают, что он будет расти ежегодно на 3,9%. И в 2022 году достигнет 17,3 млрд. долл.

Какое же будущее ждет малые космические аппараты в России? Россия может создать группировку из шести "малых космических аппаратов радиолокационного наблюдения" для исследования арктических регионов, заявил гендиректор спутникостроительной корпорации ВНИИЭМ Леонид Макриденко. По словам Макриденко, создать такую группировку можно будет в течение трех-четырех лет. Гендиректор ВНИИЭМ отметил, что спутники смогут следить за состоянием поверхности океана, а также ледового и снежного покрова, смотреть за развитием транспортной инфраструктуры и помогать в навигации самолетов и морских судов. Спутники будут располагаться на солнечно-синхронных орбитах высотой примерно 600 километров. Такая группировка сможет видеть арктические регионы России с периодичностью от четырех до восьми раз в сутки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Данилкин А.П., Козлов В.А. Мировые тенденции развития малых спутников // Экономические стратегии. - 2016. - №6. - С. 136-147.
2. Красильников А. Российская гражданская орбитальная группировка // Новости космонавтики. – 2017. - №3. – С. 14-23
3. Заичко В.А., Хайлов М.Н. Основные направления развития российской системы ДЗЗ из космоса // Новости космонавтики. – 2019. - №1. – С. 8-15
4. Россия может создать группировку из шести малых арктических спутников // РИА Новости. – 2019.

THE USE OF LASER ROCKET ENGINES OF THE SPACECRAFT WITH SMALL INITIAL MASS AND THE ESTIMATION OF ECONOMIC EFFICIENCY OF LAUNCH VEHICLES USING LASER ENERGY GROUND STATIONS

Kalmykova A. S., Tsareva E. V.
kalmykovasasha2000@gmail.com, katyatsaryeva@mail.ru
Supervisior: A. G. Sattarov
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The interest in small satellites, initially in the mass class is about tons and below, manifested itself long ago. Interest was associated with the possibility of reducing the cost of the launch through the use of modern technologies. The current scientific and technical reserve makes it possible in the near future to create micro-and nano-spacecraft (SC) that solve a wide range of tasks. Thus, there is a fundamental possibility to meet the emerging new needs in the Informatization of society, which allows us to move in the development of outer space to a new technological level and turn space into a real practically used sphere of human activity.

УДК 621.45.02+536.8+519.6

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОТОКА НАД УТОПЛЕННОЙ ЧАСТЬЮ СОПЛА НА КОЭФФИЦИЕНТ РАСХОДА

А.Н. Кириллова[1,2], Ч.Б. Хаматнурова[1,2]
anya_pand@mail.ru, chulpan100@mail.ru
Научный руководитель: А.Н. Сабирзянов[2] , к.т.н.
[1]АО Казанское ОКБ «Союз» (г. Казань)
[2]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ (г. Казань)

Средствами современного численного моделирования проведено исследование влияния относительной расходонапряженности утопленного сопла на коэффициент расхода. В рамках исследуемых геометрий получено, что определяющее влияние на параметры истечения имеет геометрия входной части утопленного сопла, а не расходонапряженность.

Особенностью многих ракетных двигателей твердого топлива является наличие утопленного сопла. Что означает погружение (утапливание) сопла вглубь камеры. Данное конструктивное решение позволяет уменьшить габаритные размеры двигателя, а именно, длину, что позволяет сократить потери удельного импульса изделия относительно изделий с укороченными соплами. При этом наличие утопленного сопла приводит к появлению соответствующих потерь, которые требуют учета для повышения уровня совершенства проектируемых изделий.

Для учета совершенства процессов истечения используются различные коэффициенты. Одним из которых является коэффициент расхода, представляющий собой в общем случае отношение реального расхода к идеальному. Данный коэффициент прост в использовании, так как изменяется в диапазоне от 0 до 1 для газодинамических однофазных задач и охватывает процессы, протекающие в камере и сопле.

В данной работе современными методами вычислительной гидродинамики с использованием программного продукта ANSYS Fluent проведено исследование влияния расходонапряженности на коэффициент расхода применительно к РДТТ с утопленными соплами. В основе данного исследования лежали результаты исследования влияния на коэффициент расхода формы входного участка утопленного сопла [1]. Получено, что форма входного участка может значительно влиять на коэффициент расхода. В зависимости от выбранной формы входного участка уменьшается или увеличивается зависимость от степени погружения сопла в камеру двигателя. Верификация применяемой модели к данному типу задач проведена в работах [1, 2].

Камеру двигателя, оснащенного утопленным соплом, условно можно разделить на три участка течения продуктов сгорания [3, 4]: участок течения в центральном канале; участок течения в кольцевом канале между зарядом и соплом; участок смешения потоков. Потоки из первых двух участков ведут себя как в обычных двигателях, за исключением того, что второй омывает входной участок сопла с внешней стороны. Когда два потока встречаются, то образуется участок смешения. Потоки в данном участке оказывают друг на друга взаимное влияние, тем самым определяя общие характеристики потока.

Выдвинуто предположение об ухудшении расходных характеристик при увеличении расхода над утопленной частью, что вызвано увеличением неравномерности встречных потоков. Однако, набегающий с утопленной части поток может образовывать устойчивый пристеночный слой, образующийся при увеличении расхода и позволяющий искусственно улучшить имеющуюся форму входного участка и тем самым увеличить коэффициент расхода.

Целью данной работы является оценка взаимного влияния двух потоков на совершенство процессов истечения из сопла в рамках осесимметричной стационарной постановки. При учете относительной расходонапряженности, изменяющейся при использовании различных форм входных участков сопла.

Оценка проводилась по изменяемому значению относительной расходонапряженности, определяющей отношение условных «сил» потоков и, в данной работе, определяемой формой входного участка. Относительная расходонапряженность в данной работе определялась по формуле:

$$\overline{\dot{m}}_{\text{ут},F} = (\dot{m}/F)^{-}/(\dot{m}/F)^{+},$$

где (+), (-) – поток центрального канала и поток кольцевого сечения соответственно, и находилась в диапазоне от 0,65 до 1,23. Исследуемые сопла различались формой входного участка утопленного сопла. Рассматривались радиусные, эллипсоидные и основанные на контуре Витошинского формы. При исследовании влияния расходонапряженности при различной форме входных участков сопел степень утопленности оставалась постоянной $\bar{L}_{\text{ут}} = L_{\text{ут}} / L_{\text{з}} = 0{,}35$ (отношение длины утопленной части сопла к длине заряда).

Исследование проводилось современными методами численного моделирования в осесимметричной стационарной постановке в пакете программ ANSYS Fluent. В качестве рабочего тела рассматривался воздух. На входе задавалось равномерное распределение массового расхода, температуры и параметров турбулентности потока. На выходе - постоянство атмосферного давления. Стенки камеры сгорания и сопла гладкие с условиями прилипания и непротекания рабочего тела.

В качестве модель турбулентности рассматривалась двухпараметрическая модель RNG *k*-ε с типовым набором модельных констант, подтвердившая свою применимость к задачам данного типа при исследовании коэффициента расхода классических сопел в работе [4], y^+ варьировался в диапазоне от 50 до 150.

Полученный коэффициент расхода варьировался μ_c от 0,9 до 0,978. Изменялся коэффициент расхода на 7,4 % для радиусных сопел, на 0,1 - 5,8 % в зависимости от относительного радиуса для эллипсоидных и не более 0,35 % для входных участков, спроектированных с использованием формулы Витошинского.

Полученные результаты свидетельствуют о большем разбросе значений для радиусных сопел. Однако получаемое кольцо второго потока в данном случае получается равнозначным для больших значений радиусов, как для радиусных так и для эллипсоидных. Больший разброс значений коэффициента расхода прослеживался и для исследования влияния геометрии формы входной части. При увеличении радиуса, что соответствует увеличению относительной расходонапряженности, коэффициент расхода увеличивается. Следует полагать, что данное влияние соответствует изменению геометрии и не несет характерного ухудшения, предполагаемого в результате роста возмущения потока.

Изначальное предположение о явном ухудшении расходных характеристик сопла при увеличении доли потока из кольцевого канала не нашло подтверждения в ходе исследования. Полученные результаты свидетельствуют об уменьшении разброса по значению коэффициента расхода для эллипсоидных и радиусных сопел при увеличении $\overline{\dot{m}}_{\text{ут.}F}$. При этом для сопел, форма которых основана на контуре Витошинскоко, не прослеживается зависимость от значения относительной расходонапряженности. Полученные результаты в рамках стационарной осесимметричной постановки позволяют предположить, что создаваемый напор из участка течения в кольцевом канале при высоких значениях относительной расходонапряженности позволяет потоку создать улучшенный контур входного участка сопла, что обеспечивается образованием утолщенного пристеночного слоя на входе в сопло. Обеспечение устойчивого взаимодействия двух потоков может быть связано с отсутствием вихря на входе в сопло не прослеживаемого при стационарной постановке задачи, а также при исследовании цилиндрического канала. Предполагается, что при пониженных значениях $\overline{\dot{m}}_{\text{ут.}F}$, поток будет вынужден следовать предлагаемому геометрическому контуру, и высокие значения коэффициента расхода будут соответствовать лучшей форме входного участка [1]. Однако, данное предположение основано на частной выборке для одной степени утопленности и требует проведения дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Сабирзянов А.Н., Кириллова А.Н.* Многофакторность влияния степени утопленности сопла на коэффициент расхода // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей» №1, 2018 С 43 – 50.

2. *Шишков, А.А.* Рабочие процессы в ракетных двигателях твердого топлива: Справочник / А.А. Шишков, С.Д. Панин, Б.В. Румянцев – М.: машиностроение, 1988. – 240 с.

3. *Ерохин Б.Т.* Теория внутрикамерных процессов и проектирование РДТТ: Учебник для высших технических учебных заведений. М.: Машиностроение, 1991. 560 с.

4. *Сабирзянов А.Н., Глазунов А.И., Кириллова А.Н., Титов К.С.* Моделирование коэффициента расхода сопла ракетного двигателя // Изв. вузов. Авиационная техника. 2018. № 2 С.: 105-111

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE FLOW ON THE RECESSED PART OF THE NOZZN ON THE FLOW RATIO ON THE DISCHARGE COEFFICIENT

A.N. Kirillova[1,2], Ch.B. Khamatnurova[1,2]

anya_pand@mail.ru, chulpan100@mail.ru

Supervisor: A.N. Sabirzyanov [2], PhD

[1]*Kazan Experienced Design Bureau «Soyuz», Kazan*

[2]*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan*

With the help of modern numerical simulation, the influence mass flow forces of the submerged nozzle on the discharge coefficienthas been studied. In the framework of the studied geometries, the determining influence on the outflow parameters is the geometry of the input part of the submerged nozzle, and not the flow rate.

УДК 629.7.036

ИЗМЕРЕНИЕ ИМПУЛЬСА ПРИ ОПТИЧЕСКОМ ПРОБОЕ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ СОПЛЕ МЕТОДОМ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Кириченко Д. С.
diman10L@mail.ru
Научный руководитель: А.Г. Саттаров, д.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева, г. Казань)

В данном работе проведены измерения полного импульса, при оптическом пробое в цилиндрическом сопле, методом баллистического маятника. По результатам было получено, что увеличение длины приводит к увеличению тяги.

В последние годы наблюдается тенденция развития космической техники в направлении снижения массово-габаритных характеристик, что особенно характерно для орбитальных космических летательных аппаратов. Использование лазерных ракетных двигателей с высоким удельным импульсом для стабилизации, ориентации орбитальных КЛА позволяет создать нано-спутниковые системы и космические платформы нового поколения с малой начальной массой [1-4].

Пусть к центру массы покоящегося в начальный момент маятника приложена в течение очень короткого времени тангенциальная сила F. Будем рассматривать массу маятника как материальную точку. Предполагается, что момент инерции груза относительно оси его мал по сравнению с моментом инерции его относительно оси подвески [5,6].

На рис. 1 представлена принципиальная схема баллистического маятника.

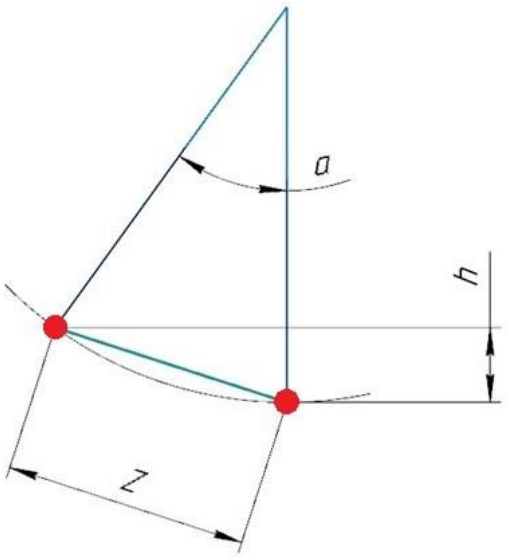


Рисунок 1 – Принципиальная схема баллистического маятника, где h – наибольшая высота подъёма центра массы, z – хорда дуги отклонения центра массы, α – угол отклонения центра массы маятника.

По закону сохранения энергии:

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh; \quad (1)$$

$$h = l - l\cos a = l(1 - \cos a), \quad (2)$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgl(1 - \cos a), \tag{3}$$

$$v_0^2 = 4gl\,(\sin\frac{a}{2})^2 \tag{4}$$

$$v_0 = 2l\sqrt{\frac{g}{l}}\sin\frac{a}{2} \tag{5}$$

На рис.2 можно увидеть отклонение мишени сопла под действием оптического разряда.

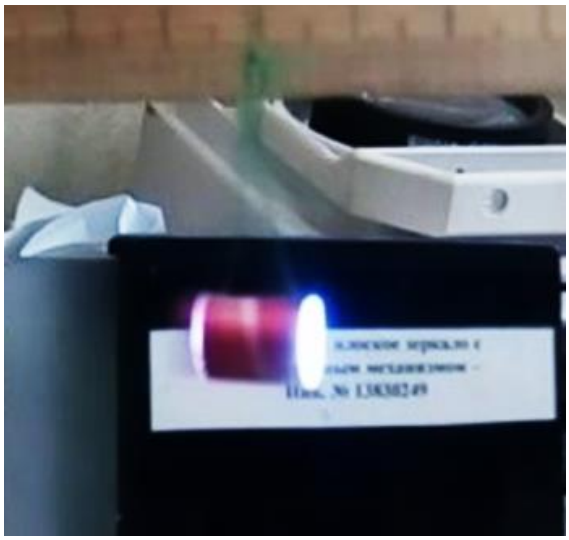


Рисунок 2 – Оптический разряд в цилиндрическом сопле

При малой амплитуде отсчет по хорде и по дуге даёт совпадающие результаты. Поэтому будем считать, что материальная точка движется вдоль хорды Z.

Зная, что хорда

$$Z = 2l\sin\frac{a}{2}, \tag{6}$$

можем написать:

$$v_0 = Z\sqrt{\frac{g}{l}}, \tag{7}$$

$$p = mv_0 = Zm\sqrt{\frac{g}{l}} \tag{8}$$

Вычислим массу мишени по следующей формуле:

$$m = \rho V, \tag{9}$$

где, V-объем мишени, -плотность материала мишени.

На рис.3 показана схема сопла-мишени.

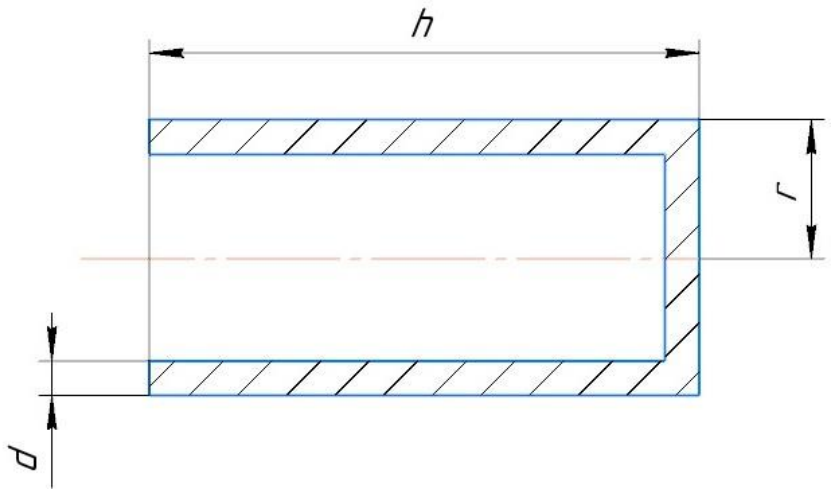


Рисунок 3 — Схема цилиндрической мишени

Результаты расчетов масс цилиндрических мишеней сведены в таблицу 1:

Таблица 1

Физические характеристики сопла-мишени

№ мишени	радиус r, см	длина h, см	толщина стенки d, см	масса m, г
1	0,35	1	0,011	0,075
2	0,35	2	0,011	0,139
3	0,35	2,5	0,011	0,171

Таблица 2

Экспериментальные данные

Мишень	Опыт	Хорда Z, см	Импульс p, г·см/сек	Импульс $p_{ср}$, г·см/сек (мкН·с)
1	1	1,7	0,860	0,793 (7,93)
	2	1,6	0,810	
	3	1,4	0,708	
2	1	3	2,821	3,009 (30,09)
	2	3,1	2,915	
	3	3,5	3,291	
3	1	1,7	1,967	2,199 (21,99)
	2	1,9	2,199	
	3	2,1	2,430	

Погрешности величин размещены в таблице 3:

Таблица 3

Погрешности величин

Величина	Погрешность	Величина	Погрешность
Масса Δm, г	0,051	Длина нити ΔL, см	0,05
Плотность материала Δq,см	0,05	Хорда дуги отклонения ΔZ, см	0,005
Радиус Δr,см	0,005	Толщина мишени Δd,см	0,0005
Длина Δh,см	0,005	Инструментальная составляющая $\Delta p_{сл}$, г·см/сек	0,062

При доверительной вероятности α равной 95% и числе повторений опытов n равное 3, t-Критерий Стьюдента равен 4,3.

Среднеквадратичной ошибкой среднего арифметического называется величина

$$S_x = \sqrt{\frac{(\bar{p} - p_1)^2 + (\bar{p} - p_2)^2 + (\bar{p} - p_3)^2}{n(n-1)}} \quad (10)$$

Случайная составляющая погрешности многократных измерений импульса

$$\Delta p_{сл} = t * D \quad (11)$$

Инструментальная составляющая погрешности многократных измерений импульса

$$\Delta p_{оп} = \sqrt{\Delta z^2 + \Delta m^2 + \frac{1}{2} * \Delta L^2} \quad (12)$$

Полная абсолютная погрешность импульса

$$\Delta p = \sqrt{\Delta p_{сл}^2 + \Delta p_{оп}^2} \quad (13)$$

Таблица 4

Погрешность измерения импульса

мишень	S_x	$\Delta p_{сл}$, г·см/сек	Δp, г·см/сек
3	0,0446	0,192	0,202
4	0,1436	0,618	0,621
5	0,0945	0,406	0,411

Полученные результаты отображены на рисунке 4.

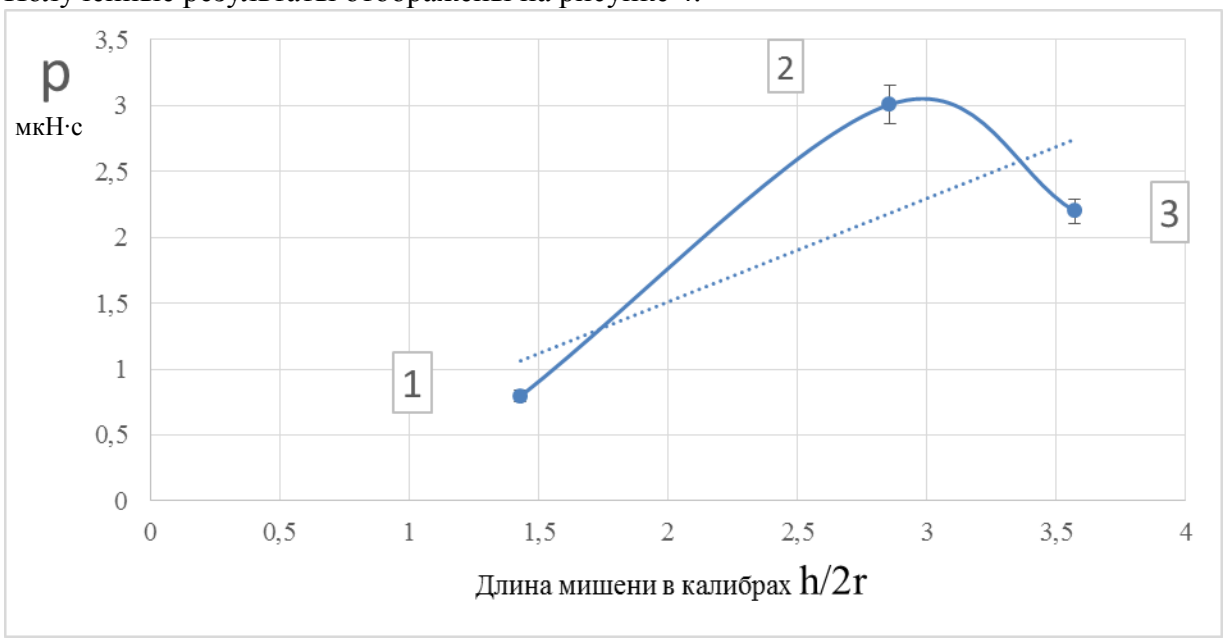


Рисунок 4 — Зависимость полного импульса от длины цилиндрического сопла

Эффективность лазерных реактивных двигателей оценивается по удельному импульсу реактивной отдачи

$$C_m = p/W; \quad (14)$$

Значение C_m для наибольшего импульса в эксперименте и энергии лазерного излучения 0,35 Дж составило 85,97 мкН·с/Дж [7–12].

Анализируя рисунок 4, видно, что импульс, при оптическом пробое цилиндрического сопла возрастает в пределах трёх калибров. Видимо это связано с большей скоростью выброса рабочего тела. Таким образом изучение лазерных ракетных двигателей является перспективным направлением, что позволит создать спутники с малой массой и габаритами. В дальнейшем, необходимы дополнительные исследования для применения и проверки ЛРД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Резунков Ю.А.* Лазерные системы реактивной тяги // Природа. 2017. № 4 (1220). С. 3-13.

2. *Бикмучев А.Р., Сочнев А.В.* Лазерный ракетный тепловой двигатель для микро- и наноспутниковых космических систем нового поколения // В сборнике: XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых) Межд. мол. науч. конф.: Материалы конференции. 2017. С. 1055-1058.

3. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В.* Измерение продолжительности импульса оптического разряда в воздухе и на модели СНО-состава для оценки мощностных параметров и режима работы импульсного лазера // Труды Академэнерго. 2016. № 3. С. 133-140.

4. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В., Бикмучев А.Р.* Статическая устойчивость по угловому движению летательного аппарата со штыревым коническим соплом на лазерной тяге // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2018. № 2. С. 142-145.

5. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В.* Исследование составляющих лазерной реактивной тяги при помощи уравнения регрессии второго порядка // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 1. С. 32-39.

6. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В., Бикмучев А.Р.* Измерение импульса реактивной силы, создаваемый импульсным оптическим разрядом при помощи баллистического маятника // Труды Академэнерго. 2015. № 1. С. 75-82.

7. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В.* Регрессионный анализ импульса реактивной силы при изменении энергии лазера и угла конического сопла // В книге: Проблемы тепломассообмена и гидродинамики в энергомашиностроении Материалы X школа-семинар мол. уч. и спец. акад. РАН В.Е.Алемасова. 2016. С. 222-226.

8. *Сочнев А.В.* Импульсный лазерный ракетный двигатель с тягой 0,1 - 0,01 Н // В сборнике: Управление движением и навигация летательных аппаратов Сб. трудов XVII Всерос. сем. по управлению движением и навигации ЛА. Науч. ред. Балакин В. Л. 2015. С. 166-167.

9. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В.* Лазерный ракетный двигатель для системы ориентации и стабилизации в космическом аппарате малой массы // В сборнике: Российская наука в современном мире Сб. статей межд. науч.-практ. конф. Отв. ред.: Соловьев В.Б.. 2015. С. 163-167.

10. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В.* Оценка удельного импульса и коэффициента реактивной отдачи импульсного лазерного ракетного двигателя для первой ступени ракеты-носителя // В сборнике: XXII Туполевские чтения (школа молодых ученых) Межд. мол. науч. конф. 2015. С. 477-482.

11. *Локтионов Е.Ю., Протасов Ю.С., Протасов Ю.Ю.* Экспериментальное исследование эффективности генерации импульса отдачи при ближней инфракрасной

фемтосекундной лазерной абляции тугоплавких металлов в вакууме // Оптика и спектроскопия. 2013. Т. 115. № 5. С. 849.

12. *Локтионов Е.Ю., Протасов Ю.С., Протасов Ю.Ю.* Экспериментальное исследование динамики лазерно-индуцированных газово-плазменных потоков при фемтосекундной лазерной абляции меди в вакууме // Оптика и спектроскопия. 2013. Т. 115. № 5. С. 856.

PULSE MEASUREMENT AT OPTICAL BREAKDOWN IN A CYLINDRICAL NOZZLE BY BALLISTIC PENDULUM METHOD

Kirichenko Dmitry Sergeevich
diman10L@mail.ru
Supervisor: A.G.Sattarov, doctor of engineering
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan*)

In this work, measurements of the total pulse, with an optical breakdown in a cylindrical nozzle, by the method of a ballistic pendulum. According to the results, it was found that the increase in length leads to an increase in traction.

УДК:629.7.036

РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ-107

Ковалеров К. П., Маликов Р. Г.
Kostyan.koval@mail.ru,Radmir_Malikov@mail.ru
Научный руководитель: Макаева Р.Х., д.т.н, профессор.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной работе рассматривается история создания ракетного двигателя, принцип работы и его использование в наше время. Этот двигатель обеспечил успешный полет первой межконтинентальной баллистической ракеты, запуск первого искусственного спутника Земли, а также полет первого человека в космос. В настоящее время этот ракетный двигатель продолжает совершенствоваться. Его используют для доставки космонавтов на Международную космическую станцию.

Ракетный двигатель (РД) – это реактивный двигатель (рис. 1), у которого источник энергии и рабочее тело находятся в самом средстве передвижения, а также он является единственным практически освоенным средством, которое используется для вывода полезной нагрузки на орбиту Земли.

Характеристикой эффективности ракетного двигателя является удельный импульс (в двигателестроении применяют несколько другую характеристику – удельная тяга) – отношение количества движения, получаемого ракетным двигателем, к массе израсходованного рабочего тела. Удельный импульс имеет размерность скорости. Для ракетного двигателя, который работает на расчетном режиме (при равенстве давления окружающей среды и давления газов на срезе сопла), удельный импульс также численно равен скорости истечения рабочего тела из сопла.

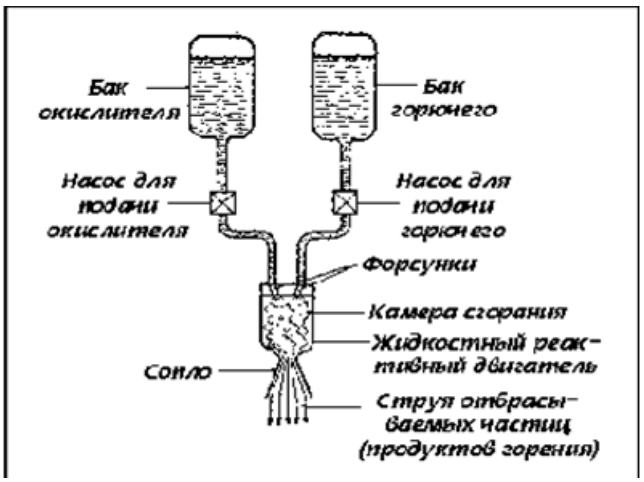


Рис. 1. Внешний вид модельного РД

Ракетный двигатель -107 является жидкостным. Принцип работы жидкостного ракетного двигателя (рис. 2) заключается в следующем.

Компоненты топлива хранятся в баках вне камеры сгорания химического ракетного двигателя (ХРД) и находятся в жидком агрегатном состоянии. Топливо подается в камеру сгорания (КС) через форсунки под давлением. Давление жидких компонентов создается либо с помощью турбонасосного агрегата, либо за счет вытеснительной подачи при повышенном давлении в баках. Обычно компоненты топлива самовоспламеняются при смешивании в камере сгорания. Иногда первые ступени ракет-носителей требуют принудительного воспламенения.

Особенностью данного типа РД является то, что они получили распространение на баллистических ракетах, ракетах – носителях для вывода космических аппаратов в космос. Жидкостные ракетные двигатели (ЖРД) допускают регулирование тяги в больших пределах, а также многократное включение и выключение. Время, которое расходуется для приведения ракеты из состояния хранения в предпусковое состояние, может достигать более десятка часов.

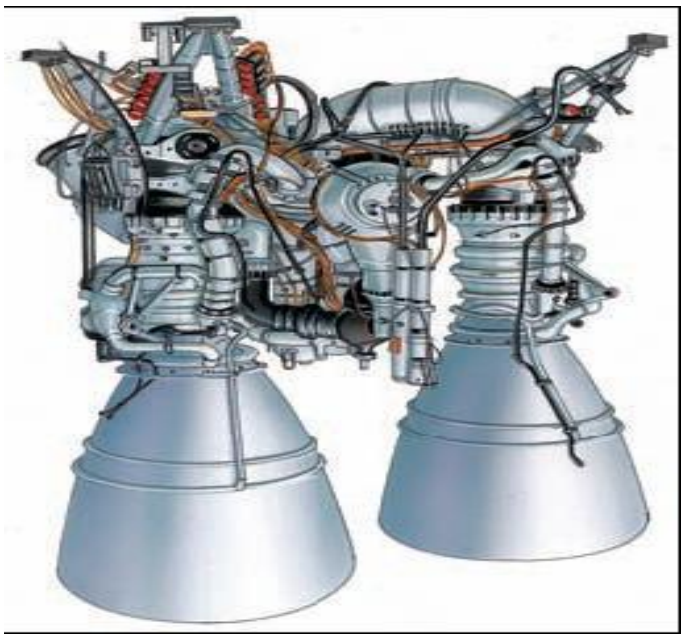


Рис. 2. Принцип работы ЖРД

Ракетный двигатель-107 (рис. 3) – это ЖРД, который был создан для первой в мире двухступенчатой межконтинентальной баллистической ракеты Р-7.



Рис. 3. Внешний вид РД - 107

Разработка ЖРД для первой межконтинентальной баллистической боевой ракеты Р-7 и семейства космических ракет-носителей «Восток», «Восход», «Молния», «Союз» началась в 1954 г. Разработка такого четырехкамерного кислородно-керосинового двигателя с рулевыми камерами для управления полетом ракеты потребовала решения некоторых очень сложных научных и технических проблем.

Эти двигатель смог обеспечить успешный полет первой межконтинентальной баллистической ракеты в августе 1957 г., запуск первого искусственного спутника Земли в октябре 1957 г., полет первого человека в космос в апреле 1961 г. Но самое первое путешествие РД-107 началось раньше 12 апреля 1961 года.

В 1954 году центральному конструкторскому бюро №1 под руководством Сергея Королева были поручены работы по созданию межконтинентальной баллистической ракеты. К началу 1957 года ракета, получившая обозначение Р-7, была готова. Специально для установки на ракету в течение 1954–1957 годов был разработан и новый РД-107.

Ракета Р-7 была жидкостной двухступенчатой ракетой. Первая ступень у этой ракеты представляла собой четыре конических боковых блока длиной около 18-19 метров с наибольшим диаметром в пределах трех метров. На каждом из блоков первой ступени были установлены РД-107. Они находились симметрично вокруг центрального блока второй ступени. Каждый двигатель имел шесть камер сгорания, две из которых использовались как рулевые.

С помощью РД-107 разработки НПО «Энергомаш» и до сегодняшнего дня надежно обеспечивается выполнение программы пилотируемых полетов. С помощью РД-107 доставляют на орбиту российских космонавтов, американских астронавтов и космических туристов из разных стран.

Были проведены работы по модернизации базовых РД-107 для первой ступени. Производство этих двигателей осуществляется на серийном заводе в Самаре под авторским надзором Приволжского филиала НПО «Энергомаш».

Разработка двигателей РД-107 и РД-108 в многокамерном варианте не могла облегчить задачу создания турбонасосного агрегата, основными отличиями которого от ранее

созданных являлись значительно увеличенные расходы компонентов топлива и напоры насосов, возросшая примерно втрое мощность турбины, необходимость компоновки в одном агрегате турбины и четырех насосов. Высокие характеристики двигателей РД-107 и РД-108 в значительной мере удалось обеспечить благодаря разработке компактного турбонасосного агрегата с высокими показателями коэффициента полезного действия насосов и турбины, с преднасосами перед крыльчатками насосов окислителя и горючего, это обеспечило возможность снижения до нижнего минимума давления наддува топливных баков ракеты, а следовательно и их веса.

Ракетный двигатель-107 является многокамерным. Двигатель состоит из четырех основных камер сгорания, одного турбонасосного агрегата, газогенератора, испарителя азота, комплекта агрегатов автоматики, узлов и деталей общей сборки. На двигателе РД-107 имеется два рулевых агрегата, а рулевые агрегаты служат для управления полетом ракеты.

В качестве топлива используются компоненты: окислитель – жидкий кислород, горючее – керосин. Для привода турбины турбонасосного агрегата используются продукты разложения перекиси водорода.

На ракетном двигателе-107 впервые было осуществлено регулирование двигателя по тяге и соотношению компонентов топлива при работе его на основном режиме, что позволило существенно повысить эффективность ракеты. Это было сделано за счет обеспечения существенно более полной и синхронной выработки компонентов топлива и баков, так и за счет обеспечения полета ракеты с заранее рассчитанной оптимальной скоростью по всей траектории полета.

Ракетный двигатель – 107 является мощным жидкостным реактивным двигателем, который ценится во всем мире. С помощью РД-107 была создана межконтинентальная баллистическая ракета, а также на ее основе – носители различных спутников Земли, космических пилотируемых кораблей, межпланетных станций и других космических объектов. С 1960 года РД-107 продолжает совершенствоваться, создаются новые модификации, которые делают этот ракетный двигатель одним из лучших в мире. В настоящее время РД-107 используется для запусков космических объектов, в том числе пилотируемых кораблей и межпланетных станций, направляемых в сторону Луны, Марса и Венеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сборник атлас «Альбом конструкции ЖРД. Ч.3.» Рук. В.П. Глушко. Сост: Агафонов С.П., Вебер А.Д., Вельт Г.А., Дарон А.Д., Иванов Н.В., Кременецкий В.Я., Кутуков Ю.Н., Павлов А.П., Радовский В.П. Москва 1969.

ROCKET ENGINE - 107

Kovalerov K.P., Malikov R.G.

Kostyan.koval@mail.ru, Radmir-Malikov@mail.ru

Supervisor: Makaeva R.H., doctor of technical Sciences, profeccor.

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

This paper discusses the history of the rocket engine, the principle of operation and its use in our time. This engine ensured the successful flight of the first Intercontinental ballistic missile, the launch of the first artificial earth satellite, as well as the flight of the first man into space. Currently, this rocket engine continues to improve. It is used to deliver astronauts to the International space station.

УДК 621.4(045)

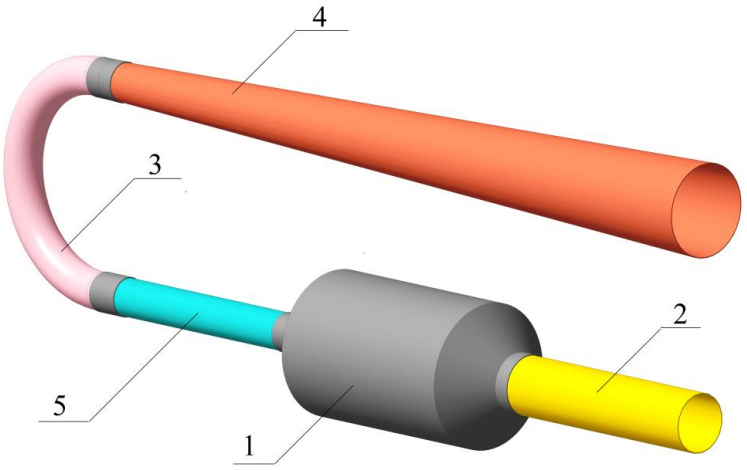
АНАЛИЗ И СПОСОБЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЗАПУСКА БЕСКЛАПАННОГО ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Семенов И.В., Гольц В.Г.
ilyasemenov9715@mail.ru
Научный руководитель: П.В. Верещагин, к.т.н., доцент
Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им.И.И. Ползунова, Бийск,

В данной статье рассмотрены теоретические основы работы пульсирующих воздушно-реактивных двигателей и отработка методов запуска рабочей модели такого силового агрегата во время стендовых испытаний. В процессе исследований были выявлены проблемы распространенного способа запуска ПуВРД, а взамен предложены и опробованы на практике альтернативные способы запуска.

Пульсирующие воздушно-реактивные двигатели (ПуВРД) имели достаточно большую популярность в первой половине 20-го века. Наибольшую применимость имела концепция клапанного ПуВРД, которая подходила для достаточно мощных по тем временам силовых агрегатов. Так, клапанные ПуВРД использовались на немецких ФАУ-1.

Однако, между тем, существует и бесклапанный вариант ПуВРД. Такой двигатель не имеет подвижных частей в своей принципиальной схеме (Рисунок 1), что делает его проще и дешевле клапанного варианта. Наиболее распространены конструкции ПуВРД U-образной формы. [1]



1 – камера сгорания, 2 – патрубок забора воздуха и одновременно сопло,
3 – колено, 4 – диффузор, соединительный патрубок
Рисунок 1 – Принципиальная схема ПуВРД

В общем случае, такой двигатель имеет камеру сгорания, куда заводится форсунка для подачи газообразного топлива. К камере с двух сторон крепятся патрубки, при этом через более короткий и широкий проходит забор воздуха из атмосферы, а более узкий патрубок ведёт смесь топлива с воздухом ведёт через колено к расширяющейся в диаметре трубе – диффузору. Колено, благодаря которому стало возможным расположить оба сопла двигателя в одном направлении, позволяет также уменьшить габариты двигателя по длине, а также создать аэродинамический клапан – участок с высоким сопротивлением при протекании по нему различных сред. [1]

Для того, чтобы бесклапанный ПуВРД начал свою работу, необходимо подать газ (чаще всего – пропанобутановую смесь) и смешать его с воздухом таким образом, чтобы объёмная концентрация пропанобутановой смеси находилась между нижним и верхним концентрационным пределом для процесса горения и детонации, что составит примерно от

2% до 9%. Кроме того, газо-воздушная смесь должна хорошо перемешиваться, чтобы иметь однородную концентрацию по всему объёму – это вынуждает перед запуском подавать воздух в камеру сгорания принудительно, для этих целей подходит компрессор, мощность и расход воздуха которого должны соответствовать расходу газа. [2]

Следующим шагом после создания смеси является зажигание, которое можно производить различными способами, однако, самым распространенным на сегодняшний день является способ зажигания от искрового разряда на автомобильной свече зажигания. Такой способ требует дополнительной аппаратуры – автомобильного аккумулятора, прибора преобразования постоянного тока от аккумулятора в ток, который будет подан на свечу зажигания с необходимыми параметрами напряжения и частоты.

В процессе запуска часть облака пропанобутановой смеси, которая перемешалась с воздухом в нужной пропорции, вступает в процесс дефлаграционного горения и создаёт импульс, который способен привести двигатель в движение. Однако, одновременно с этим, существует часть смеси, которая не участвует в процессе дефлаграции из-за неполноценного перемешивания смеси – горение такой смеси начинается не от инициирующей искры, а уже от дефлаграции облака газа. Порция не размешенной смеси, после того, как воспламеняется, горит медленнее той смеси, что к этому моменту уже продефлагрировала. Этот порция под давлением продуктов горения выходит через колено двигателя в диффузор. Однако, после дефлограции в камере сгорания образуется разряжение, которое заполняется новой порцией топливной смеси. При правильном проектировании деталей двигателя, можно добиться того, что облако горящего газа, которое было вытеснено из камеры сгорания, направится обратно, в сторону разряжения, и станет инициирующим форсом огня для следующей дефлаграции. Данное явление на практике подтверждается. [1]

Изучив теоретическую часть, нами был изготовлен опытный образец бесклапанного ПуВРД (Рисунок 2). В качестве материала была использована Сталь 10. Вес двигателя составил 45 кг, объём камеры сгорания составляет 54,5 л. Подвод топлива осуществляется через форсунку, которая представляет собой трубку, на которую нанесён ряд отверстий. Форсунка ввинчивается в укрепленное наваренной гайкой отверстие, выполненное на боковой поверхности камеры сгорания. На удалении примерно 200 мм от форсунки на поверхности камеры выполнено отверстие со специальной резьбой для установки автомобильной свечи. Необходимое оборудование – компрессор и комплект электрического зажигания был готов к моменту запуска двигателя на стенде. В качестве источника топлива был использован баллон с пропанобутановой смесью.



Рисунок 2 – Внешний вид опытного образца ПуВРД

В ходе стендовых испытаний удалось произвести запуск двигателя, однако подражание существующим методикам запуска, в том числе зарубежным, давали малоудовлетворительные результаты. Так, опираясь на зарубежную методику, мы осуществляли подачу газа камеру с последующим зажиганием от свечи, а воздух подавался через короткий широкий патрубок сериями в несколько секунд – это позволяло добиться требуемых дефлаграций топлива. Однако, при этом требовалось поддержка запуска, длительность которой ограничивал режим работы комплекта зажигания – его использование дольше 15-20 секунд способно привести к выводу оборудования из строя – если двигатель в этот срок не запускался, то попытка считалась неуспешной. По результатам стендовых испытаний, вероятность успешного запуска составляет около 5% (1 успешный запуск из 20). Кроме того, мы приняли во внимание то обстоятельство, что стоимость комплекта электрического зажигания требует больших затрат – порядка одной трети от стоимости силового агрегата в целом. Полученные результаты натолкнули нас на поиск альтернативного способа запуска, которые, в процессе стендовых испытаний были нами выявлены.

Найденный нами способ запуска двигателя не требует комплекта электрического зажигания и производится от пламени, которое может создать примитивная горелка. По сравнению с существующими методиками, мы использовали подвод воздуха в область форсунки, игнорируя патрубок, через который прежде подавался воздух. Этот шаг значительно уменьшил время развития дефлаграционного горения, и приводил к нарастанию частоты дефлаграций, после чего, поддержка компрессора теряла необходимость спустя 10-15 секунд, однако, задержка запуска на 10 и даже 20 секунд, являлась поправимой человеческой ошибкой, связанной с регулировкой подачи пропана.

Кроме того, в ходе стендовых испытаний, нами был найден ещё один способ зажигания, который заключался в продувании газо-воздушной смеси через колено и зажигание на выходе из диффузора. При этом, образовавшийся очаг пламени постепенно уходил в глубь двигателя и шел к камере сгорания, одновременно с этим нарастала частота дефлаграций, после чего двигатель выходил на полноценный режим работы. При использовании такого алгоритма запуска удалось добиться уменьшения времени поддержки двигателя компрессором до 5-7 секунд.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1 Сейфетдинов Р. Рабочий процесс пульсирующих воздушно-реактивных двигателей. Методы моделирования, 127 с.

2 Овчаренко, А.Г. Расчет критериев взрывопожарной и пожарной опасности производственных помещений: методические рекомендации по выполнению практических заданий по курсу «Безопасность жизнедеятельности» для студентов технических вузов различных направлений подготовки и специальностей / А.Г. Овчаренко, С.Л. Раско; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2011. – 28 с.

ANALYSIS AND WAYS OF MODERNIZATION PROCESS START VALVELESS PULSATING AIR-JET ENGINE TEST BENCH TESTING

Semenov I., Golts V.

ilyasemenov9715@mail.ru

Supervisor: P. Vereshchagin, candidate of technical Sciences, associate Professor

Biysk technological Institute (branch) Altai state technical University.I. I. Polzunov, Biysk

This article describes the theoretical foundations of the pulsating jet engines and working out methods of starting the working model of such a power unit during bench tests. The research revealed problems common ways to start pulsing jet engine, and instead proposed and tested alternative ways of triggering.

УДК 629.7.036

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВОК РЕАКТИВНОЙ ТЯГИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ЭНЕРГИЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Станкус Д.А.
Basketballist2000@yandex.ru
Научные руководители: А.Г., Саттаров, проф. каф. РДиЭУ, д.т.н,
А.Р. Бикмучев, научный сотрудник центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Для реализации идеи использования энергии лазерного излучения в КЛА с малой массой, выводимого на околоземную орбиту, необходимо решить ряд проблем, в том числе и проблему генерации необходимой для этих целей энергии лазерного излучения, рассчитанной с учетом возможных потерь необратимого характера, которые свойственны техническим системам. В данной работе приведены аналитические формулы и результаты выполненных расчетов по оценке уровней необходимой мощности для работы лазерной установки реактивной тяги КЛА с малой массой.

1. Расчет необходимого количества энергии

В работе [1] получена формула расчета необходимого количества энергии лазерного излучения для вывода на околоземную орбиту КЛА с различными начальными массами M_0 без учета потерь энергии в струе двигателя. Эти потери можно учесть, если расчет необходимого количества энергии проводить через располагаемую мощность струи двигателя. Как известно, реактивный двигатель, использующий энергию струи, истекающую из сопла со скоростью w, не способен реализовать всю поступающую энергию лазерного излучения в энергию движения КЛА, так как будут иметь место потери, в том числе, связанные с рассеянием в атмосфере энергии струи, имеющей определенную температуру и скорость относительно окружающей среды. Поэтому, располагаемая мощность $N_р$ двигателя складывается из полезной мощности реактивной струи $N_{пол}$ и потерянной мощности $N_{пот}$[2]:

$$N_p = N_{пол} + N_{пот} \tag{1}$$

Тогда полная энергия, затраченная двигателем, равняется:

$$E = \tau(N_{пол} + N_{пот}) = \tau N_p \tag{2}$$

где τ – время работы основных двигателей.

Время работы $\boldsymbol{\tau}$ основных двигателей в формуле (2) можно определить, исходя из скорости истечения рабочего тела w из сопла, тяговооруженности n_0 ($n_0 = R/M_0$[м/с^2]) конечной скорости КЛА v:

$$\tau = \frac{w}{n_0} \cdot (1 - e^{-\frac{\upsilon}{w}}) \tag{3}$$

Располагаемую мощность (Np) можно выразить через параметры, w,v,M_0:

$$N_p = П_p \cdot N_p^c \tag{4}$$

где: $Пр$– коэффициент учета переносной кинетической энергии реактивной струи $П_р = 1 + \frac{\upsilon^2}{w^2}$;

N_p^c – мощность струи для неподвижной РН, $N_{\text{p}}^{\text{c}} = \frac{m}{2} \cdot w^2$;

m - массовый расход рабочего тела через ЛРД.

После элементарных преобразований (4), с учетом формулы Циолковского, запишется в виде [2],[297]:

$$N_p = \frac{1}{2} \cdot n_0 \cdot w \cdot M_0 \cdot (1 + \frac{\upsilon^2}{w^2}) \tag{5}$$

Исходя из (3) и (5) получим окончательную формулу для расчета необходимого количества энергии лазерного излучения для КЛА, выводимого на околоземную орбиту лазерным ракетным двигателем, с учетом необратимых потерь в струе истекающего из сопла рабочего тела:

$$E = \frac{1}{2} \cdot M_0 \cdot w^2 \cdot (1 + \frac{\upsilon^2}{w^2}) \cdot (1 - e^{\frac{\upsilon}{w}}) \tag{6}$$

Принимая гипотезу Циолковского о постоянстве скорости истечения рабочего тела из сопла РД определим оптимальную, наиболее выгодную скорость подъема ракеты.

Оптимальная, т.е. энергетически выгодная скорость подъема КЛА характеризуется тем, что при этой скорости удельные потери от сил, препятствующих вертикальному движению аппарата, будут минимальными.

Рассмотрим силы, препятствующие движению КЛА. Их две: аэродинамические силы сопротивления атмосферы Земли и вес аппарата. Аэродинамические силы сопротивления атмосферы Земли можно записать в виде [3]:

$$\text{Q}_\text{s} = \frac{1}{2} C_z \rho_{(z)} S \upsilon^2, \tag{7}$$

C_z – коэффициент лобового сопротивления;

$\rho_{(z)}$ - значение плотности воздуха на высоте Z;

v скорость подъема КЛА;

S – характерная площадь поперечного сечения КЛА.

Другим параметром, препятствующим движению, будет вес КЛА:

$$P = Mg \tag{8}$$

где: M – масса КЛА;

g – ускорение Земного тяготения.

Задача нахождения оптимального режима вертикального подъема ракеты в поле тяготения Земли с учетом сопротивления атмосферы в проекции на вертикальную ось Z можно решить исходя из уравнения Мещерского:

$$M \frac{d\upsilon}{dt} = -Mg(z) - \frac{dM}{dt} w(Z) - Q_s(w, Z), \tag{9}$$

где M=M(t) – масса КЛА в момент времени t на высоте Z.

Для активного участка оптимального полета можно получить из уравнения (9) формулу:

$$\frac{Mg}{Q_s} = 1 + \frac{\upsilon}{w}, \qquad (10)$$

Полагая в формуле (10) $\upsilon << w$ (начальный участок полета), приходим к формуле $\frac{Mg}{Qs} = 1$,т.е. получим равенство силы веса и силы сопротивления среды, т.е. приходим к приближенному методу и формуле Оберта.

В работе [3] определена оптимальная тяговооруженность n_0:

$$\frac{R_0}{M_0} = \frac{w(3 + 2w/\upsilon_0)(\upsilon_0^2 + 2\upsilon_0 V)}{(\upsilon_0^2 + 4\upsilon_0 w + 2w^2)\tau} = \frac{\alpha(\upsilon_{0,} w)}{\beta(\upsilon_{0,} w)} \qquad (11)$$

где $\alpha(\upsilon_{0,} w) = 2(1 + \frac{\upsilon_0}{2w})(1 + \frac{3\upsilon_0}{2w})$, $\beta(\upsilon_{0,} w) = (1 + \frac{\upsilon_0}{w})(1 + \frac{2\upsilon_0}{w} + \frac{\upsilon_0^2}{2w^2})$

Для оптимального движения КЛА в поле тяготения Земли сучетом аэродинамических потерь формулу (5) с учетом (11) можно записать:

$$N_p = \frac{1}{2} \cdot \frac{w^2(3 + 2w/\upsilon_0)(\upsilon_0^2 + 2\upsilon_0 V)}{(\upsilon_0^2 + 4\upsilon_0 w + 2w^2)\tau}(1 + \frac{\upsilon^2}{w^2})M_0 \qquad (12)$$

Для начального участка полета КЛА, при допущении $\upsilon_0 << w$, ($\frac{\upsilon_0}{w} \approx 0$) из уравнения (11) следует: $n = \frac{R_0}{M_0 g} = 2.00$. С ростом υ_0 величина $n = \frac{R_0}{M_0 g}$ становится меньше. При $\upsilon_0 = w$, как это следует из [3], имеем $n = (\frac{R_0}{M_0 g}) = \frac{15}{14} = 1{,}07$ Оптимальными являются режимы работы ЛРД, обеспечивающие параметр n=2.0 (при $\upsilon_0 << w$, начальный участок полета), n=1.07 (при $\upsilon_0 = w$, конечный участок полета). [3].

Результаты расчетов необходимого количества энергии (Е) и мощности лазерного излучения (W) для вывода на ОИСЗ КЛА с ЛРД, с использованием формул (5), (6) приведены в таблице1. При расчетах значение конечной скорости КЛА принималось равной V=10000[м/с], тяговооруженности n_0=12,5 [м/с^2].

Таблица 1

Результаты расчета необходимого количества энергии (Е) и мощности лазерного излучения (W) для вывода на ОИСЗ КЛА с ЛРД

M_0, кг	100	200	300
Е, ГДж	6,3	12,6	18,9
τ, с	505,6		
W, МВт	12,5	25	37,5

Мощность лазерного излучения (W), необходимая для вывода на ОИСЗ КЛА с ЛРД, зависит от M_0 и n_0. При низких значениях n_o требуются большие времена работы основных двигателей, следовательно, меньше требуемой мощности (W).

Увеличение скорости истечения *w* рабочего тела из сопла ЛРД также приводит к увеличению необходимого количества энергии, следовательно, и потребной мощности (W) лазерного излучения (рис.1а).

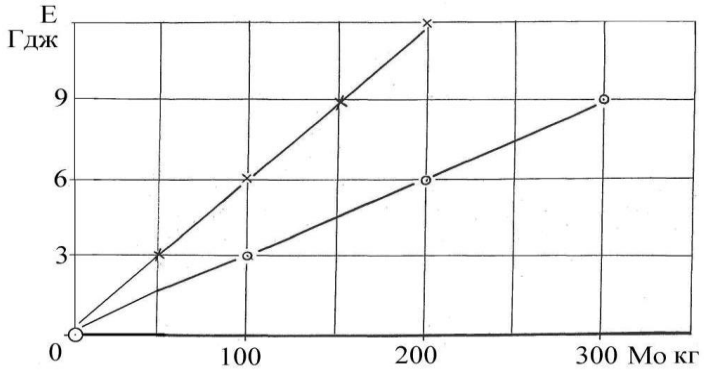


Рис.1.а) Зависимость энергии от значения начальной массы КЛА (при $V = W$= 10000 м/с, n_0 = 12,5 м/с^2) ○ – расчет по Пирри и Вайсу, [4], х– расчет по автору

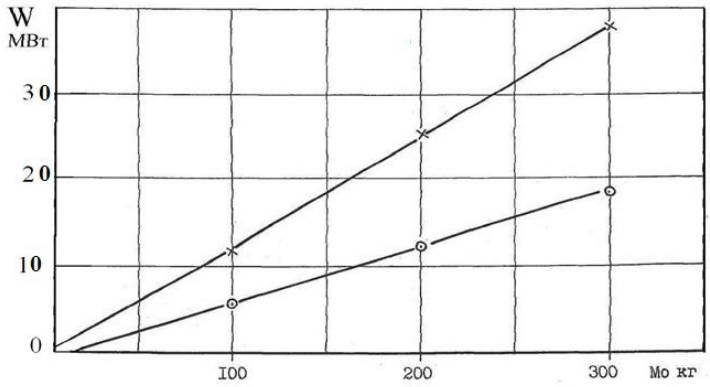


Рис. 1.б). Зависимость необходимой мощности лазерного излучения от начальной массы КЛА (при $V = W$= 10000 м/с, n_0 = 12,5 м/с^2)
○ – расчет по Пирри и Вайсу [4],х – расчет по автору

Из анализа необходимых для работы ракетных двигателей величин энергии следует, что основным препятствием в создании новой транспортно-космической системы, основанной на использовании энергии лазерного излучения, является отсутствие в настоящее время генераторов когерентного электромагнитного излучения требуемой мощности, которые обеспечили бы передачу энергии на КЛА в диапазонах «окон» в атмосфере.

Проблема генерирования необходимого количества энергии лазерного излучения для КЛА с малой начальной массой (M_0≈ 100 – 300 кг) может быть решена путем использования нескольких генераторов когерентного излучения малой мощности и компоновкой двигательных установок (ДУ) ЛРД на КЛА специальным образом [1].

2. Концепция создания энергетических установок реактивной тяги, основанная на том, что поступающая на КЛА из нескольких источников энергия лазерного излучения.

Предлагается концепция создания энергетических установок реактивной тяги, основанная на том, что поступающая на КЛА из нескольких источников энергия лазерного излучения распределяется по нескольким ЛРД, расположенным вокруг корпуса РН. При данной компоновке двигателей РН выполняется двухступенчатым. Первая ступень РН использует импульсно -периодический лазер (до высот 30- км, рабочее тело окружающий воздух), затем на высотах выше 30 км осуществляется переход на ЛРД непрерывного действия с подводом водорода из баков. Вторая ступень состоит из РДТТ. В центральной части расположена ракета с РДТТ рис.2 а. (поз.2)

Применение данной компоновочной схемы, с использованием мощных промышленных волоконных лазеров (100 кВт) с высоким КПД (30-35%), на длинах волн, работающих в диапазоне «окон» в атмосфере, разработка ЛРД с удельным импульсом $I_{yд}$ =1000 – 2000 с, и систем адаптивной оптики, ставит задачу создания КЛА с малой начальной массой в ранг реальной научно-технической проблемы, которая может быть решена в настоящее время.

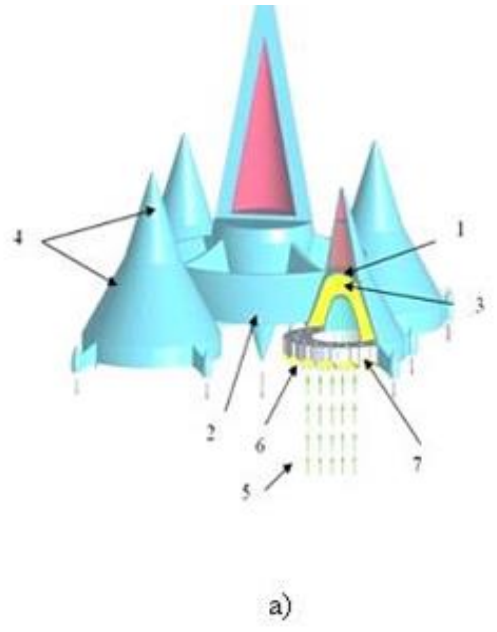


Рис.2 а). КЛА с малой массой на основе ЛРД и РДТТ с отделяемыми ступенями.
1-бак с рабочим телом; *2*-корпус и вторая ступень с РДТТ; - *3* – непрерывный оптический разряд; *4*-первая ступень с ЛРД непрерывного и импульсного действия; *5*-лазерное излучение; 6-рабочее тело на выходе; 7-матричный рефлектор импульсного ЛРД первой ступени

Как следует из анализа существующих в настоящее время лазерной техники, наиболее перспективным для применения в КА является – волоконный, который выпускается промышленностью.

Промышленные волоконные лазеры с мощностью 50-100 кВт, работающие на длине волны 1.06-1.07 мкм могут быть использованы для генерирования необходимого количества для работы ЛРД лазерной энергии. Анализ пропускания данного излучения атмосферой Земли при расположении лазеров на высоте 3 км над уровнем моря показывает, что на этой длине волны через атмосферу проходит 90 % энергии лазерного луча (рис.2.4). Таким образом, волоконные лазеры по пропусканию атмосферы и по другим параметрам подходят для решения поставленных задач.

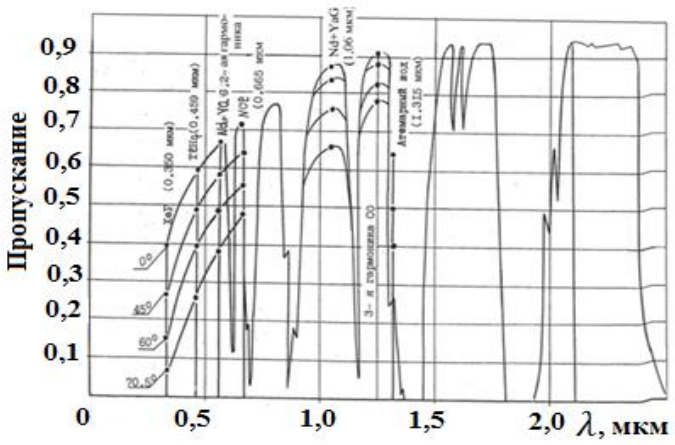


Рис.3.Пропускание атмосферы на высоте 3 км над уровнем моря.[5]

Выводы

Высокий удельный импульс, характерный для ЛРД, в сочетании с большим КПД преобразования энергии лазерного излучения в энергию струи РД позволит существенно снизить начальную массу разгонных блоков, особенно в первой ступени РН.

На второй ступени (после разделения на высоте 30 км первой ступени с непрерывным и импульсным РД) предлагается использовать РДТТ.

Одной из главных проблем при разработке КЛА данного типа является создание энергетических установок, способных эффективно преобразовать энергию подводимого в КЛА мощного лазерного излучения в энергию струи. ЛРД. Наиболее важным моментом для решения поставленных задач при этом является выбор лазера. Большой КПД (до 40%) и хорошая проходимость лазерного излучения через атмосферу на длине волны 1.06-1.07 мкм и выпуск в промышленных масштабах позволяет использовать для решения данных задач волоконные лазеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1.Саттаров А.Г. Концепция космического ЛА с малой начальной массой, выводимого на о.колоземную орбиту лазерным ракетным двигателем //Известия вузов. Авиационная техника.2008.№ 2.С.41-44.

2.*Баррер М.А., Жомотт Д., Вебек Б.Д., Ванденкеркхове Ж.* Ракетные двигатели. М.: Оборонгиз, 1962.

3.Тертычный-Даури В.Ю. Гиперреактивная механика. М.: Физматлит, 2004. 560 с.

*4.Pirri A.N., Weiss R.F.*Laser Propulsion//AIAA.vol.36, №5,1972.P.72-719.

5.Космические двигатели.Состояние и перспективы / Под ред.А.С. Коротеева. М.: Мир, 1989. 461с

DETERMINATION OF THE ENERGY CHARACTERISTICS OF JET PROPULSION SYSTEMS FOR SPACECRAFT USING LASER ENERGY

Stankus D.A

Basketballist2000@yandex.ru

A.G. Satarov, doctor of technical Sciences, Professor.

A.R. Bikmuchev, researcher of the cosmonaut training center named after Yu.A. Gagarin.

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

To realize the idea of using the laser energy in a low-mass spacecraft to be placed in near-earth orbit, a number of problems need to be solved, including the problem of generating the laser energy necessary for these purposes, calculated taking into account possible irreversible losses that are characteristic of technical systems. This paper

presents the analytical formulas and the results of the calculations performed to estimate the levels of the required power for operating a low-mass CLA jet propulsion laser unit.

УДК 621.45.02+536.8+519.6

КОЭФФИЦИЕНТ МЕСТНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПРИ ВНЕЗАПНОМ РАСШИРЕНИИ ПРИ ТЕЧЕНИИ ПО ТРАКТУ КАНАЛА РДТТ

Хаматнурова Ч.Б. [1,2]***, Кириллова А.Н.*** [1,2]
chulpan100@mail.ru, anya_pand@mail.ru
Научный руководитель: А.Н. Сабирзянов[2] , к.т.н.
[1]*АО Казанское ОКБ «Союз» (г. Казань)*
[2]*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ , г. Казань*

Современными методами вычислительной гидродинамики исследован коэффициент местных гидравлических потерь для участка внезапного расширения поперечного сечения канала осесимметричного заряда РДТТ. В рамках исследуемых моделей представлены зависимости коэффициента потерь от степени расширения уступа. Показаны отличия коэффициента местных сопротивлений при внезапном расширении.

При всей простоте функциональной схемы РДТТ точный расчет его рабочих характеристик представляет собой сложную задачу. Решается она при помощи методов внутренней баллистики РДТТ. На сегодняшний день, когда в практике успешно используются современные методы газовой динамики, оценка внутрибаллистических характеристик РДТТ в одномерной постановке также остается актуальной.

Для определения ожидаемых тягово-энергетических характеристик двигателя необходимо учитывать коэффициенты потерь, отражающих отклонение от идеальных характеристик. Газодинамические потери давления составляют весомую часть этих отклонений. Газодинамические потери учитывают местные гидравлические потери давления, неравномерность параметров, потери на трение и др. [1], которые имеют место как при расширении продуктов сгорания в сопле, так и по тракту заряда.

Потери полного давления по тракту в большей мере определяются устройством заряда твердого топлива. В современных РДТТ применяется самые разнообразные заряды, имеющие подчас сложную форму внутреннего канала. Свободное сечение канала может быть постоянным, плавно меняющимся и ступенчатым. На участках тракта заряда, где внезапно изменяется площадь проходного сечения возникают местные потери давления. Потери давления торможения Δp на таких участках характеризуются коэффициентом гидравлических потерь[2]:

$$\Delta p = \zeta_м \frac{\rho \omega_0^2}{2}, \quad (1)$$

где $\zeta_м$ – коэффициент местного сопротивления (гидравлический коэффициент сопротивления), ρ – плотность продуктов сгорания, ω – скорость потока.

Расчет внутрибаллистических параметров по тракту камеры требует знание потерь давления, которые будут влиять на газоприход с поверхности горения, на скорость потока и т.д.

В большинстве литературных источников, таких как [1, 3] для упрощения расчета и применяются коэффициенты местного сопротивления из справочника [2]. Коэффициенты потерь, рассматриваемые в справочнике, получены для труб с местным сопротивлением и непроницаемыми стенками, однако в двигателях твердого топлива существует постоянный массоприход от поверхности заряда. От сюда следует необходимость оценки справедливости коэффициентов местного сопротивления в тракте камеры.

Целью данной работы было сравнение коэффициента потерь при внезапном расширении канала.

В данной работе современными численными методами с использованием программного продукта ANSYS Fluent проведено исследование корректности коэффициента местного сопротивления при внезапном расширении поперечного сечения канала заряда в камере сгорания РДТТ.

Для моделирования течения в условиях, подобных камере сгорания РДТТ, и исследования местного сопротивления на участке внезапного расширения канал заряда в качестве геометрической модели использовалась камера двигателя со сверхзвуковым профилированным соплом и цилиндрическим одноканальным зарядом. Геометрическая схема расчета помимо КС и сопла включала дополнительный объем для моделирования истечения струи в свободное пространство, что исключало необходимость определения граничных условий на выходе из сопла. Моделирование проводилось в рамках осесимметричного приближения в идеально-газовой адиабатной постановке стационарной задачи. В качестве рабочего тела рассматривался воздух. На входе (поверхности заряда) задавалось равномерное распределение массового расхода, температуры и параметров турбулентности потока. На выходе — постоянство атмосферного давления. Стенки камеры сгорания и сопла гладкие с условиями прилипания и непротекания рабочего тела.

В процессе расчета безразмерный параметр y^+ не превышал 15. Турбулентность моделировалась с помощью RANS подхода, где в качестве моделей турбулентности рассматривались двухпараметрические модели турбулентности RNG k-ε и SST k-□ с типовым набором модельных констант.

Коэффициент местного сопротивления при внезапном расширении зависит только от отношения площадей узкого и широкого F_0/F_2 и вычисляется по формуле Борда-Карно[2]:

$$\zeta_м = \frac{\Delta p}{\rho\omega_0^2/2} = \left(1 - \frac{F_0}{F_2}\right)^2, \qquad (2)$$

В ходе исследования проводилось сравнение коэффициента потерь, рассчитанного по классической формуле местных сопротивлений (1), данные для которой были получены в результате осесимметричного стационарного моделирования процесса истечения потока в тракте камеры РДТТ при числах Рейнольдса $Re<10^5$, и рассчитанных по формуле (2).

Результаты расчета газодинамических параметров по тракту РДТТ с внезапным расширением показали, что за счет газоприхода от поверхности топлива существенно сократилась длина участка зоны возвратных токов. Незначительные по размеру вихревые зоны присутствовали только при решении в постановке с забронированным торцом.

По полученным результатам выявлена существенная разница коэффициентов потерь, рассчитанных двумя подходами. При моделировании процессов в камере РДТТ коэффициент местного сопротивления получился значительно ниже данных [2]. Сопоставление коэффициентов потерь в диапазоне F_0/F_2=0,2…0,3 показано на рис.1.

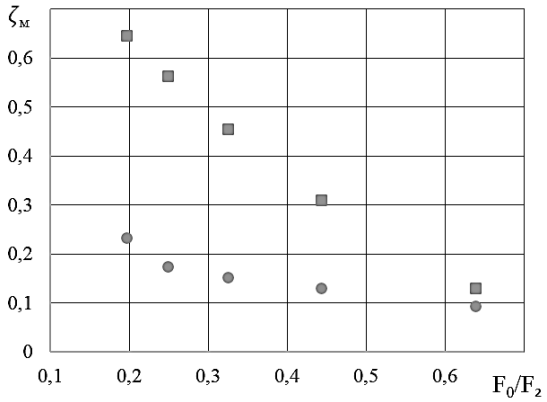


Рис. 1. Сопоставление коэффициентов гидравлических потерь при внезапном расширении для непроницаемой стенки из справочника [2] и проницаемой стенки КС РДТТ

■– экспериментальные данные коэффициента гидравлических потерь; ● –коэффициент гидравлических потерь полученный путем моделирования процесса.

Сохранение полного давления по тракту заряда является следствием того, что с появлением перпендикулярного газоприхода по отношению к поверхности горения твердого топлива уменьшаются местные потери при внезапном расширении потоков. Поскольку гидравлические потери на участке местного сопротивления уменьшаются, то потери, связанные со смешением перпендикулярного потока, становятся основными и определяют совершенство процесса. В действительности, помимо потерь на трение при внезапном расширении с газоприходом имеются дополнительные потери, связанные с процессом подмешивания дополнительной массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Абугов Д.И., Бобылев В.М.* Теория и расчет ракетных двигателей твердого топлива. Учебник для машиностроительных вузов. М.: Машиностроение, 1987. 272 с.

2. *Идельчик И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям // М.: Машиностроение, 1975. 559 с.

3. *Шишков А.А., Панин С.Д., Румянцев Б.В.* Рабочие процессы в ракетных двигателях твердого топлива: Справочник. М.: Машиностроение, 1988. 240 с.

ABOUT THE INFLUENCE MASS FLOW FORCES OF THE SUBMERGED NOZZLE ON THE DISCHARGE COEFFICIENT

Ch.B. Khamatnurova[1,2], A.N. Kirillova[1,2]

chulpan100@mail.ru, anya_pand@mail.ru

Supervisor: A.N. Sabirzyanov [2], PhD

[1]*Kazan Experienced Design Bureau «Soyuz», Kazan*

[2]*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev,Kazan*

The modern method of computational hydrodynamics investigated the coefficient of local hydraulic losses for the area of sudden expansion of the cross section of the axisymmetric channel solid propellant channel. Within the framework of the models under study, the dependences of the loss coefficient on the degree of expansion of the ledge are presented. The differences in the coefficient of local resistance in case of sudden expansion, with permeable and impenetrable walls are shown.

УДК 621.45

ЗАРЯД РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЗАКРУЧЕННЫМ КАНАЛОМ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

Шайдуллин Р.А.

samsankimanki@bk.ru

Научный руководитель: А.Н. Сабирзянов, канд. тех. наук

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Предложен заряд ракетного двигателя смесевого твердого топлива с каналом звездообразной формы, который выполнен с закруткой относительно осевой линии топливного заряда. Данная схема позволяет обеспечить более устойчивую работу ракетного двигателя твердого топлива к пульсациям давления в камере сгорания.

При работе ракетного двигателя на твердом топливе (РДТТ) имеется большая вероятность появления акустической неустойчивости, что представляет собой совпадение колебаний давления с характерными собственными частотами камеры. Акустическая неустойчивость может оказаться разрушительной, как для самого двигателя, так и для ракетного комплекса в целом.

Подавление акустической неустойчивости предполагает сложное проектирование заряда, утолщение стенки обечайки, подбор разных форм и материалов днищ и внедрение

механических конструкций подавления колебаний давления. Эти способы обычно работают комплексно, что значительно усложняет проектирование и доводку РДТТ. Предприятия и опытно – конструкторского бюро тратят на решение этой проблемы большие ресурсы из – за недостатков уже существующих способов подавления акустической неустойчивости.

Большинство механических способов подавления колебаний давления, заведомо обречены на отказ, так как они негативно влияют на габариты и массовые характеристики ракетного двигателя, к тому же действуют они в узком диапазоне частот колебаний.

Обдумывать и размышлять над новыми способами регулировки акустической неустойчивости в РДТТ необходимо постоянно, так как актуальность проблемы существует с начала эры ракетных двигателей, что подтверждает огромный поток патентов на решение этого вопроса. Новые способы подавления акустических колебаний в РДТТ, вероятно, должны быть относительно универсальными и способными работать комплексно, что может внести свою полезность в ракетостроение. Таким образом, цель данной работы: выработать относительно универсальный способ подавления акустической неустойчивости в РДТТ.

Колебания давления в камере РДТТ бывают: продольными, тангенциальными и радиальными. При больших величинах *L/D* превалирующими являются продольные колебания давления. Для коротких камер доминирующие – тангенциальные и радиальные колебания. Возникновение указанных акустических волн влияет на процесс горения и вызывают колебания скорости горения и, соответственно, скорости тепловыделения, что приводит к преобразованию теплоты горения в механическую энергию звуковой волны.

В данной работе предлагается схема заряда ракетного двигателя на смесевом твердом топливе (рис.1), имеющий канал звездообразной формы, выполненный с закруткой на некую длину под определенным углом, величина которого обеспечивает необходимую диссипацию акустической неустойчивости. После воспламенения заряда РДТТ, поток продуктов сгорания закручиваются согласно углу закрутки профиля звездообразной формы. Энергия акустических волн, существующие в камере сгорания, может быть сопоставима с энергией закрученного потока, которая затрачивается на преодоление гидравлических потерь по тракту канала. Благодаря диссипации акустической энергии, под действием закрученного потока колебания в камере сгорания затухают и режим работы стабилизируется [1].

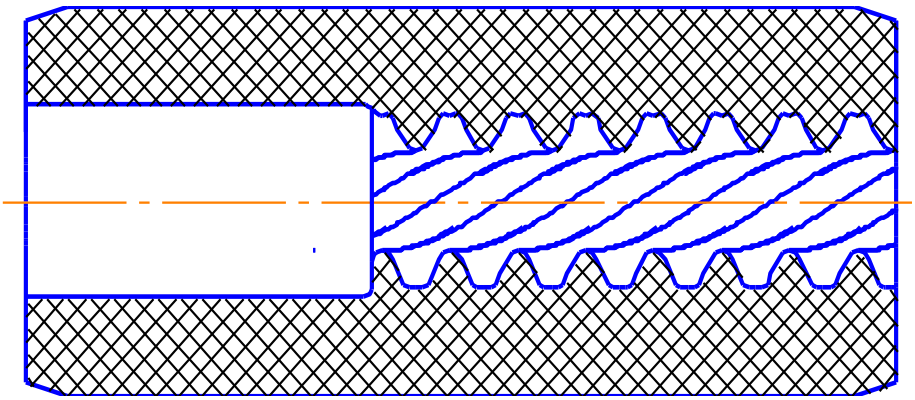


Рис.1. Заряд ракетного двигателя с закрученным каналом

Рассмотрим частный случай – собственные акустические колебания газа в камере [2]. Тогда существенное значение в данном случае имеют частота и форма звуковых волн, которые могут распространяться в камере сгорания при отсутствии внешних источников.

Расчеты потерь давления на закрутку для нулевого приближения можно свести к гидравлическим потерям [3], предполагая, что газ идеальный, нетеплопроводный и невязкий, с неизменной теплоемкостью и газовой постоянной; источника тепла нет, и среда однородна. Тогда волновое уравнение примет вид:

$$\frac{\partial^2 p'}{\partial \tau^2} - c_0^2 \Delta p' = 0 \cdot \qquad (1)$$

Для камеры цилиндрической формы, закрытой с обоих концов, и при простейших граничных условиях на боковых и торцевых поверхностях, соответствующих недеформируемым стенкам, общее решение уравнения (1) имеет вид:

$$p' = \sum_z \sum_n \sum_m \overline{A} \cdot Jn(\alpha_{mn}; \frac{r}{R}) \cdot \cos(w\tau) \cdot \cos(n\varphi + z\pi \frac{x}{L}), \quad (2)$$

где p' – пульсации давления в камере; m, n, z – целые числа, которые соответствуют радиальным, тангенциальным и продольным модам; A – амплитуда колебаний; $Jn(\alpha_{mn}; \frac{r}{R})$ – функция Бесселя первого рода порядка n; α_{mn} – n – ый корень уравнения $\frac{dJ_n(\alpha)}{d\alpha} = 0$; r – текущий радиус канала заряда; R – максимальный радиус цилиндрической обечайки камеры; $\Gamma(m+\alpha+1), \Gamma(z)$ – гамма-функция; x – шаг по длине L цилиндрической камеры; ω – круговая частота.

Форма колебаний зависит от многих факторов, в числе которых геометрические размеры камеры, и описывается функцией Бесселя. Известно, что при увеличении диаметра канала, пульсации падают и наиболее опасным режимом для работы РДТТ является первые его секунды, когда сечение канала твердого топлива минимально. На рис. 2 показано, что первая мода обладает максимальной величиной, когда как последующие моды характеризуются меньшей.

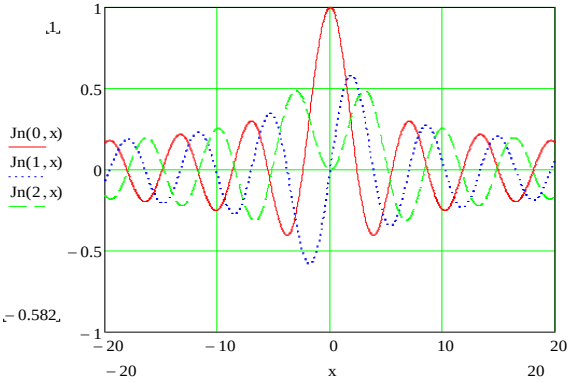


Рис.2. График изменения функции Бесселя по x

Очевидно, что для подавления какой – то энергии необходимо затратить работу, поэтому определяющим в данной постановке будет работа на диссипацию акустической неустойчивости. Для определения работы на диссипацию акустической энергии необходимо ввести дополнительный параметр S – интенсивность закрутки [4], который определяется как:

$$S = \frac{M}{RJ}, \quad (3)$$

где M – компонент осевого потока момента импульса; J – осевая составляющая потока импульса; R – характерный размер рассматриваемого сечения.

Скорость закрутки потока можно определить через интенсивность закрутки S:

$$U_{зак} = U_{потока} \cdot S, \quad (4)$$

где $U_{потока}$ – осредненная по радиусу скорость потока среды. При допущении, что энтальпия $i=const$, уравнение энергии для идеального газа имеет вид:

$$\frac{w_1^2}{2} = \frac{w_2^2}{2}, \quad (5)$$

где w_i – скорость потока; 1 и 2 – это индексы рассматриваемых сечений.

Из [3] можно представить, что затраты энергии de будут иметь вид:

$$de = \frac{U_{потока}^2 - U_{закрут}^2}{2}, \quad (6)$$

$$dp_{общ} = de \cdot \rho, \quad (7)$$

где $dp_{общ}$ – это общие потери давления на закрутку, которые представлены в виде гидравлического сопротивления, ρ – плотность продуктов сгорания.

Следовательно, исходя из работоспособности закрученного потока, получим уравнение пульсаций давления при использовании закрутки:

$$p'' = p' - dp_{общ}, \quad (8)$$

где p'' есть пульсации давления в цилиндрической камере после подвода закрутки.

Закрутка потока негативно влияет на совершенство процессов истечения из сопла, что отражено на рис. 3. Расчеты изменения коэффициента расхода были произведены в ANSYS Fluent.

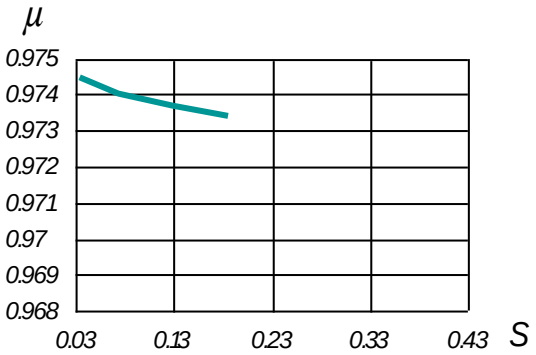


Рис.3. Изменение коэффициента расхода μ от интенсивности закрутки S

С увеличением S коэффициент расхода μ уменьшается, что объясняется изменением линий тока продуктов сгорания по тракту двигателя. Оптимальным диапазоном интенсивности закрутки считается от 0.1 до 0.3 [5], так как с увеличением интенсивности увеличиваются потери различного характера. При данных значениях S и μ выбираем для дальнейшего анализа S=0.159.

Начальные условия для оценки устойчивости рабочего процесса:

$$p = 4МПа;\ A = 0.03 \cdot p;\ R = 0.06\ м;\ L = 1.1м;\ T_г = 2932К;\ \rho = 4.345 \frac{кг}{м^3};\ r = 0.03м.$$

При решении уравнений (2) и (8) для заданных начальных условий на рис. 4 представлены значения пульсаций давления без учета и с учетом интенсивности закрутки S=0.159 в сечении $x = 0.8 \cdot L$, которые имеют несинусоидальный и несимметричный характер. Принимая во внимание интенсивность закрутки, пульсации давления снизились на 10 – 11%.

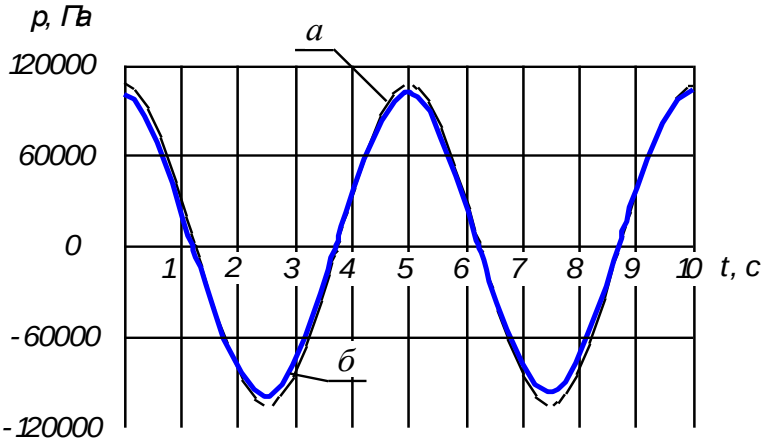


Рис.4. Пульсации давления в сечении $0.8 \cdot L$*:*
а – без учета закрутки;
б – с учетом закрутки.

Моделирование закрученного потока в цилиндрической камере РДТТ без учета подвода продуктов сгорания показало, что ввод закрученного потока положительно и отрицательно влияет на некоторые характеристики. При малых скоростях продуктов сгорания внутри камеры закрутка теряет свою работоспособность, так как связана с гидравлическими потерями в камере. Наиболее всего данная схема подойдет при скоростях от 100 – 150 метров в секунду и выше, что соответствует многим РДТТ.

Исходя из рис. 3 можно сказать, что любое увеличение интенсивности закрутки негативно повлияет на коэффициент расхода. Увеличение S с 0 до 0.4 прогнозирует уменьшение μ на 0.06 – 0.07, что является по своей сути малым значением и данными величинами можно пренебречь.

Данная схема выполнения закрутки технологически более целесообразна. Она подходит для различных канальных форм и не требует больших усложнений. Кроме того, увеличивается площадь горения заряда и коэффициент заполнения камеры сгорания, что положительно влияет на коэффициент массового совершенства двигателя. Вдобавок, не возбраняется выполнение канальной закрутки на всю длину топливного тракта, использование лучей разного диаметра, а также закрутки с переменным диаметром, что может существенно облегчить технологию изготовления заряда, которая будет характеризоваться ударной нагрузкой при извлечения специальной иглы. В свою очередь, шаг закрутки определяется частотой неустойчивого режима, а диаметр лучей определяет массоприход и требуемую интенсивность закрученного потока. К тому же, не запрещается использование данного типа закрутки в баллиститном заряде твердого топлива.

Различные вариации закрутки открывают большой спектр геометрических характеристик заряда. Уменьшение длины заряда прогнозирует увеличение длины винтовой линии и, соответственно, шага. Эти составляющие будут определять массовые характеристики заряда и его компоненты, а также технологию производства твердотопливных зарядов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Пресняков В.Ф.* Динамика ракетных двигателей твердого топлива. – Москва: Машиностроение, 1984. – 248 с.

2. *Абугов Д.И., Бобылев В.М.* Теория и расчет ракетных двигателей твердого топлива. Учебник для машиностроительных вузов. – М.: Машиностроение, 1987. – 272с.

3. *Идельчик И.Е*. Справочник по гидравлическим сопротивлениям/; Под ред. канд. техн. Наук М. О. Штейберга – Москва: Машиностроение, 1992. – 672 с.

4. *Александров Ю.Б., Сабирзянов А.Н., Явкин В.Б.* Влияние упрощения геометрической модели камеры сгорания газотурбинного двигателя на результаты численного моделирования//Известия вузов. Авиационная техника. 2017. №4. – с.90-96.

5. *Алексеенко С.В., Куйбин П.А., Окулов В.Л.* Введение в теорию концентрированных вихрей. – Новосибирск.: Институт теплофизики СО РАН 2003. – 504с.

CHARGE OF ROCKET ENGINE WITH A SWIRLED CHANNEL FOR ADDING INSTABILITY

Shaydullin R. A.

samsankimanki@bk.ru

Supervisor: Sabirzyanov A. N., cand. those. of sciences

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

The charge of the rocket engine of mixed solid fuel with a star-shaped channel, which is made with a twist relative to the axial line of the fuel charge. This scheme allows for more stable operation of the solid-fuel rocket engine to pressure pulsations in the combustion chamber.

СЕКЦИЯ 4

КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ И АППАРАТЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНА

УДК 620.16

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Алсаид. М
mazenal60@yahoo.com
Научный руководитель: А. Саламех, к.т.н, доцент
(Астраханский государственный технический университет, Астрахань)

Рассмотрены методы испытаний полимерных композитных материалов на основе стеклянных наполнителей для определения их основных механических характеристик, в частности, предела прочности при растяжении, сжатии, межслойный сдвиг и изгибе. Также в данной работе приведена технология изготовления образцов для проведения планированных испытаний.

Введение

На сегодняшний день один из основных показателей промышленного прогресса является внедрение новых конструкционных материалов, свойства которых превосходят традиционные. В то же время появление новых материалов в разных отраслях, в том числе в судостроении требуется разработка новых стандартов и новые методы для испытаний предлагаемых материалов в целях определить их характеристики.

Перспективным примером для применения новых материалов является полимерные композиционные материалы (ПКМ) - это многокомпонентные материалы, состоящие из матрицы, армированной наполнителями. Наполнители обеспечивают необходимые механические характеристики материала, а матрица – совместную работу армирующих элементов [1].

Поскольку все изделия из ПКМ, применяемые в разных отраслях промышленности в той или иной степени подвергаются сильной нагрузки, отсюда механические свойства ПКМ являются часто основными для подтверждения выполнения основных требований к надёжности, и также для осуществления контроля качества изделии и в то же время для организации технологического процесса изготовления их, поэтому не сомнительно можно выделять важность проведения испытаний ПКМ в целях определения их механических свойств в зависимости от виды нагрузок, действующие на изделия во время эксплуатации.

На данном этапе развития методов испытаний ПКМ как в Российской Федерации, так и за рубежом, существуют разные методы, предлагаемы организациями, занимающимися стандартизацией (ГОСТ, ISO, ASTM), при этом для применения ПКМ в судовых конструкциях правила Российского морского регистра судоходства (РС) требуются определить следующие прочностные характеристики [2]:

- предела прочности и модуля нормальной упругости при растяжении;
- предела прочность при сжатии;
- предела прочности при изгибе;
- предела прочности при межслойном сдвиге.

Материалы для испытаний

В судостроении, так и в других отраслях полимерные композитные материалы нашли широкое применение. Этот факт объясняется особенными преимуществами данных материалов по сравнению с традиционно применяемыми (сталь, алюминий, дерево). Расход энергии при изготовлении изделия из ПКМ меньше чем традиционных, что позволяет уменьшить стоимость изготовления. Также ПКМ имеют хорошую прочность с маленьким удельным весом, что позволит уменьшение веса изделия, с другой стороны ПКМ не подвергаются коррозии и владеют высокой стойкостью против воздействия агрессивных сред. Главное отличие ПКМ заключается в том, что они не существуют отдельно от конструкции и технологии их изготовления, что позволяет осуществить контроль над конечными характеристиками продуктов на этапе проектирования посредством изменения компонентов.

Для изучения механических свойств ПКМ при растяжении, сжатие, изгиб и межслойной сдвиг были изготовлены пластины из ПКМ, армированных стеклянными волокнами. В состав данного материала входят следующие компоненты:

- Стекломат марки EMC-600-1250-E – эмульсионная ткань, изготовленная компанией «Джуши» (Jushi Group);
- Термореактивная ортофталевая полиэфирная смола «Яркопол-110», выпускаемая заводом «Ярославские полиэфиры»;
- Ровинговая стеклоткань (Рогожа) марки EWR 560 – двунаправленная ткань, сотканная из переплетённых между собой нитей прямого стеклоровинга. Основные характеристики выбранных компонентов приведены в таблице 1. [3]-[5].

Таблица 1

Физик – механические свойства выбранных компонентов

EMC-600-1250-E		Яркопол-110		EWR 560	
Характеристика	Значение	Характеристика	Значение	Характеристика	Значение
Поверхностная масса, г/м^2	600 ± 7,5	Плотность, при t = 23 °C, г/см³	1,13–1,14	Поверхностная масса, г/м^2	560
Содержание связующего, %	3,5 ± 1,1	Изгибающее напряжение при разрушении, Мпа	70–100	Содержание влаги, %	≤ 0,15
Прочность на разрыв, Н	≥ 160	Разрушающее напряжение при сжатии, Мпа	90–140	Содержание замасливателя, %	0,6 ± 0,2
Удельная разрывная нагрузка по вертикали, Н/мм	60	Относительное удлинение при разрыве, %	3–5	Разрывная нагрузка по вертикали, Н	2800
Удельная разрывная нагрузка по горизонтали, Н/мм	60	Прочность при разрыве, Мпа	5–65	Разрывная нагрузка по горизонтали, Н	2800

Технология изготовления образцов

Образцы для испытания вырезаются из пластин, подготовленных по следующей технологии: подготовка плит (матрицы); подготовка смолы; укладка слоёв; отверждение пластин (кондиционирование); механическая обработка; начальная резка и обрезка образцов.

Пластины для испытания образцов изготавливаются методом контактного формования с ручной укладкой. Хотя метод ручной укладки требует значительного объёма физических сил, он является дешёвым по аппаратно-технологичному оформлению изделия из ПКМ. Преимуществами такого способа являются простота применения, низкая стоимость оснастки, возможность контроля показателей, в частности соотношение стекломата и смолы, отсутствие появления воздушных пузырьков.

Размеры пластин зависят от способа производства, а также от материалов, применяющихся для изготовления. Поэтому согласно ГОСТу 33345-2015 [6] пластины изготавливают квадратной формы, длиной и шириной 600 мм, с содержанием стекломата в пластине 32 ± 4 % масс.

В качестве материалов для матрицы принято использовать полированную сталь или любой другой непористый материал (в качестве материала для матрицы использована фанера). Подготовка матрицы из фанеры начинается с устранения всех дефектов на её поверхности наждачной бумагой, затем наносится плёнка (тонкий слой) высококачественным декоративным покрытием на основе полиэфирной смолы марки «Гелькоут ИН-700 S» щёткой. Нанесение данного покрытия на наружную поверхность листов обеспечивает равномерность нанесения первого слоя смолы, что, в свою очередь, влияет на качество поверхности пластин в целом. С другой стороны, данное покрытие дополнительно выполняет функцию антиадгезива, облегчающего извлечение пластины из

матрицы. Желатинизация данного покрытия происходит в течение 18–25 мин при температуре 20 ± 0,5 °С.

На этапе подготовки смолы её перемешивают с отвердителем марки «Бутанокс М-50» (Butanox M-50), выпускаемым компанией Akzo Nobel, по 1-4 phr от массы смолы (phr-частей на 100 частей смолы) с учётом, что летом можно уменьшить дозу, т. К. при высокой температуре высыхание смолы происходит быстрее. По рекомендациям производителя стандартная пропорция отвердителя составляет 1,5–2,5 % от массы смолы.

Оформление пластин начинается со смазки матрицы смолой, затем происходит укладка первого слоя ткани стекломата. Используя валик, пропитывают смолой с повышенным добавлением отвердителя, т. К. первый слой считается основой для остальных слоёв, и он должен тесно закрепляться к матрице. Для равномерного распределения смолы по стекломату и для удаления пузырьков воздуха применяют разбивочный валик. Через 20–25 мин происходит нанесение остальных слоёв ткани в той же последовательности (укладывать ткань → пропитывать смолой → прокатать для удаления воздуха). В конце оформления листа его необходимо оставлять для высыхания на 48 ч при температуре окружающей среды, затем провести процесс кондиционирования не менее 16 ч при температуре 23 ± 2 °С и относительной влажности 50 ± 5 %, если в нормативно-технической документации на материал нет других указаний.

По окончании процесса кондиционирования пластины извлекаются из матрицы и подвергаются механической обработке (с целью получения гладкой ровной поверхности без вздутий, сколов, трещин и других видимых дефектов), к которой относятся: шлифовка поверхности, обрезка облоя – излишков стеклопластика или отвержденной полиэфирной смолы по краям листов. Обрезают пластину с каждой стороны не менее чем на 10 мм.

Процесс обрезки образцов из пластинок выполняется при помощи ленточной пилы по следующему режиму:

– скорость резки не менее 915 м/мин;

– число зубьев на метр – 400–550;

– шероховатость поверхности *Ra* не более 6,3 мкм.

Конструкция образцов и методы испытаний для определения прочностных свойств ПКМ

В качестве объекта исследования для проведения испытания на растяжение выбраны плоские образцы без головок (рис 1), согласно ГОСТу 11262-2017 [7]. Основные размеры образцов приведены в таблице 2.

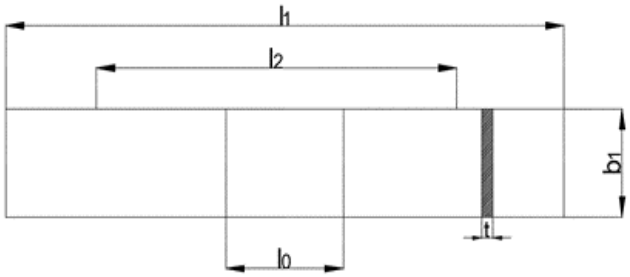


Рис. 1. Форма образцов для испытания на растяжение

Таблица 2

Конструктивные элементы образцов для испытания на растяжение

Параметр	Значение мм
Общая длина l_1, не менее	250
Расстояние между метками, определяющими положение кромок зажимов на образце l_2	170 ± 5
Расчетная длина l_0	50 ± 1
Ширина головки b_1	25 ± 1
Толщина h	$2{,}0 \pm 0{,}2$

Среди разнообразных методов анализа прочностных свойств ПКМ испытание на сжатие являются наиболее информативными для практических рекомендаций использования ПКМ в определённых видах конструкций. Согласно Госту 4651-2014 [8] образцы для испытания должны иметь форму прямоугольной призмы с рекомендуемыми размерами, приведёнными в таблице 3.

Таблица 3

Конструктивные элементы образцов для испытания на сжатие

Параметр	Значение, мм
Длина	$10 \pm 0{,}2$
Ширина	$10 \pm 0{,}2$
Толщина	$4 \pm 0{,}2$
Примечание – Допускается использовать образцы длиной (15,0 ± 0,2) мм и (30 ± 2) мм.	

Сущность метода испытания на изгиб заключается в том, что испытуемый образец прямоугольного поперечного сечения, свободно лежащий на опорах, подвергают изгибу с постоянной скоростью в середине между опорами до его разрушения или до достижения образцом заданной величины относительной деформации или прогиба. Во время испытания измеряют нагрузку, прилагаемую к образцу, и соответствующие значения прогиба посередине между опорами.

При этом согласно Госту 4648-2014 [9] с учетом рекомендации правила РС объектом исследования служит призма с размерами 200 х 20 х10 мм как показано на рисунке 2

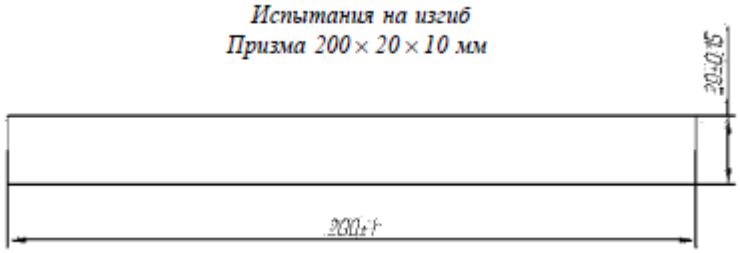


Рис. 2. Форма образцов для испытания на изгиб

Расслоение является основным видом повреждения ПКМ, поэтому обязательно провести испытание ПКМ на межслойный сдвиг, так как данный вид нагружении определяет, в большой степени, способность ПКМ выдерживать нагрузки, вдоль укладки слоев. Согласно требовании РС [2] для испытания ПКМ на межслойный сдвиг используются образцы формой призма с размерами 60 х 10 х10 мм как показано на рисунке 3.

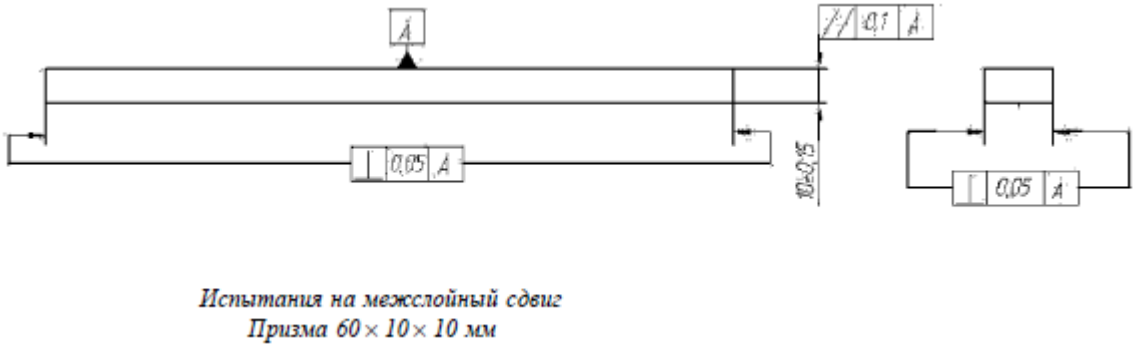


Рис .3. Форма образцов для испытания на межслойной сдвиг

Заключение

В данной работе представлена технология изготовления образцов из полимерных композиционных материалов для определения их механических свойств (растяжение,

сжатие, изгиб и межслойный сдвиг). Размеры и форма образцов выполнены в соответствии с ГОСТом. В состав полимерного композиционного материала входят стекломат марки EMC-600-1250-E, термореактивная ортофталевая полиэфирная смола «Яркопол-110» и ровинговая стеклоткань (Рогожа) марки EWR 560. Материал с указанным составом предлагается применять для изготовления судовых конструкций, и, в частности, надстроек сухогрузных судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dr. S. Selvaraju*. Applications of composites in marine industry / Dr. S. Selvaraju, S. Ilaiyavel //Journal of Engineering Research and Studies. – 2011. – №.2 / Issue II.-C. 89–91.
2. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XVI. Конструкция и прочность корпусов судов из полимерных композиционных материалов. – СПб: Российский морской регистр судоходства, 2019, 151 с.
3. E-Glass Emulsion Chopped Strand Mat. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://en.jushi.com/uploads/soft/jushiEN%20Products/EGlass%20Emulsion%20Chopped%20Strand%20MatE02.pdf (дата обращения: 11.02.2019).
4. Характеристики смолы «Яркопол-110». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://megaplast.org/images/pdf/Yarkopol_110.pdf (дата обращения:11.02.2019).
5. Ровинговая стеклоткань марки EWR 560. GLASS-TEX. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.glass-tex.ru/index.php/steklovolokno/steklotkan-rovingovaya (дата обращения:10.02.2019).
6. ГОСТ 33345-2015. Композиты полимерные. Производство пластин для изготовления образцов для испытаний. Общие технические требования.- М.: Стандартинформ, 2015. - 24 с.
7. ГОСТ 11262-2017. Пластмассы. Метод испытания на растяжение. – М.: Стандартинформ, 2018. – 24 с.
8. ГОСТ 4651-2014.Пластмассы. Метод испытания на сжатие. – М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.
9. ГОСТ 4648-2014.Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб. – М.: Стандартинформ, 2018. – 23 с.

TECHNIQUE OF RESEARCH OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Alsaid Mazen

mazenal60@yahoo.com

Supervisor: Salamekh Ali, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor

(Astrakhan State Technical University, Astrakhan)

Methods for testing polymeric composite materials made of glass fibers to determine their basic mechanical characteristics, in particular, tensile strength, compression, interlayer shear and bending, are considered. Also this paper presents the manufacturing technology of samples for the planned tests.

УДК 629.052.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРА В КАЧЕСТВЕ ДАТЧИКА УГЛА ПОВОРОТА НАВИГАЦИОННОГО СЕКСТАНА

Баженов Д.А., Богатыренков С.С.
forfoxford@mail.ru
Научный руководитель: С.В. Козик, профессор
ГУМРФ им адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург

Проблема автономного определения координат места судна является одной из ключевых проблем в навигационном обеспечении безопасности судовождения. В связи с развитием технологий, а также диджитализации всех сфер жизни необходимо усовершенствование уже существующих аналоговых приборов. В данной статье рассматривается порядок подключения электронных компонентов и разработка программы для оцифровки значений, получаемых с потенциометра для цифровизации навигационного секстана.

Навигационный секстан – прибор, созданный в 1699 году Ньютоном. Позже еще два ученых независимо друг от друга сконструировали подобные приборы. Принцип работы основывается на измерении угла при помощи оптического совмещения прямовидимого дважды отражённого изображения. В связи с тем, что секстан – аналоговый прибор, требуется его цифровизация.

В результате проведённого анализа[1], в качестве датчика угла поворота был выбран потенциометр. Потенциометр выдаёт аналоговый сигнал, который нужно преобразовать в цифровой и обработать. Ставится задача: разработать прототип устройства, выполняющий эти действия.

В связи с поставленной задачей мы решили выбрать следующие компоненты:

1. Плату Arduino UNO с микроконтроллером ATmega328. Выбор пал именно на нее в связи с несколькими факторами, такими как:

- Простота подключения и использования. В микроконтроллер уже прошит загрузчик, поэтому необходимость во внешнем программаторе отсутствует. На концептуальном уровне плата программируется через RS-232 (последовательное соединение). Интерфейс RS-232 использован для сопряжения микроконтроллера, в дальнейшем называемый МК, содержащего встроенную схему UART, с компьютером через порт USB с помощью преобразователя (RS-232/USB).
- Доступность среды программирования. Платформа программируется посредством ПО Arduino. Язык программирования очень похож на C, так как мы изучали его ранее, то у нас не возникло проблем с изучением нового синтаксиса.
- В связи с тем, что на данный момент мы не ограничены какими-либо размерами, Arduino Uno является наиболее удобной для сборки и прототипирования проекта.
- Доступность. На момент начала работы над проектом мы уже имели данную плату.

2. Аналого-цифровой преобразователь(АЦП) AD7714ANZ-5, 24-битный. Данный АЦП был выбран из расчетов точности. Он может дать 2^{24} значений на полный поворот потенциометра. Используя данный АЦП, в идеальных условиях, на 72^{o} мы сможем получить 4 026 531 значения, что подходит для наших целей.

Нами были разработаны принципиальная схема устройства(рис.1), а также схема устройства для макетной платы(рис.2):

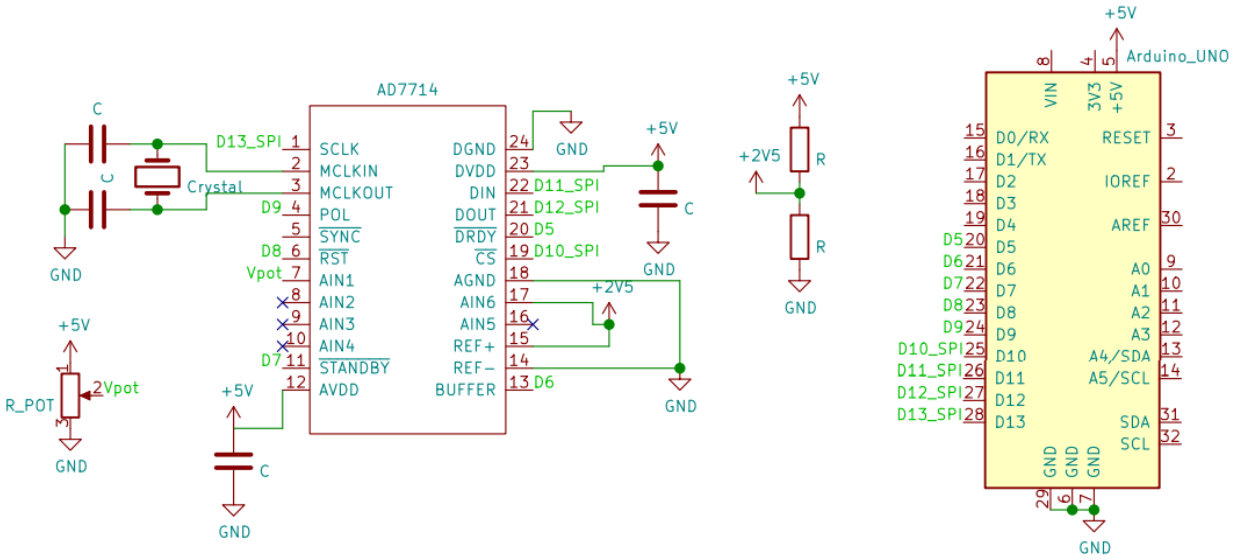


Рисунок 1. Принципиальная схема устройства

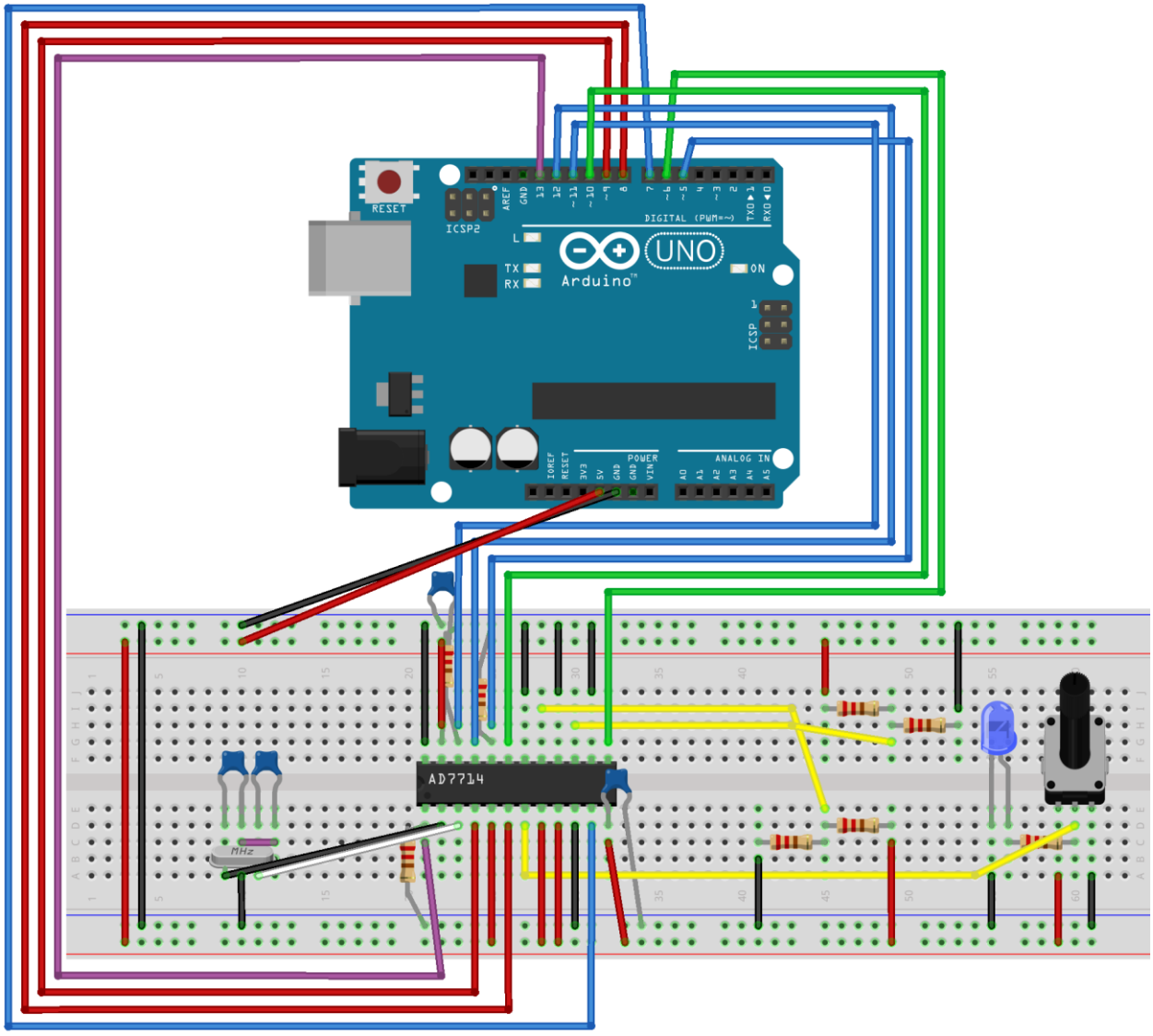


Рисунок 2. Схема устройства для макетной платы

Далее мы приступили к созданию кода для общения с аналого-цифровым преобразователем. Рассмотрим процесс обмена данными между АЦП и Arduino. Для этого рассмотрим сам АЦП подробнее, назначение пинов(рис.3):

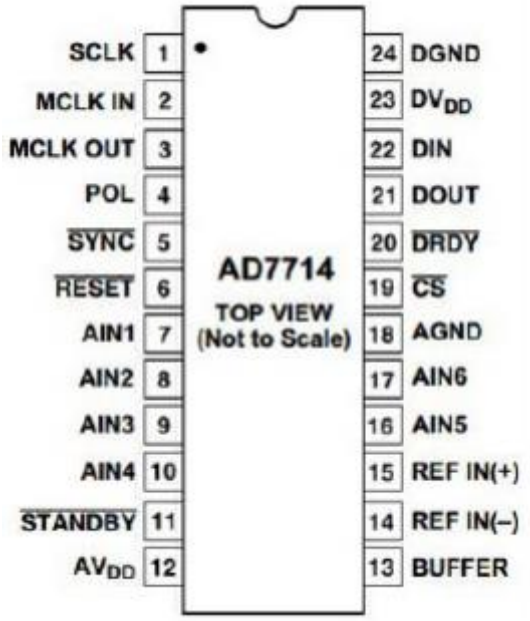


Рисунок 3. Распиновка АЦП AD7714

1. SCLK - тактирование SPI.
2. MCLK IN - тактирование цифровой части АЦП. Можно тактировать от внешнего кварцевого генератора с частотой от 1 МГц до 2,4576 МГц (используется с MCLK OUT) или от внешнего источника – тактируется MCLK IN, тогда MCLK OUT имеет инвертированное значение.
3. MCLK OUT - тактирование цифровой части АЦП.
4. RESET - инвертированный вход. При подаче логического нуля произойдёт перезапуск АЦП.
5. AIN1 - первый аналоговый вход.
6. AIN2 - второй аналоговый вход.
7. AIN3 - третий аналоговый вход.
8. AIN4 - четвёртый аналоговый вход.
9. STANDBY - инвертированный вход. При подаче логического нуля переводит АЦП в «спящий» режим – наименьшее потребление тока.
10. AV - питание аналоговой части АЦП.
11. BUFFER - регулирование входного сопротивления.
12. REF IN (-) - отрицательный вход дифференциального опорного сигнала.
13. REF IN (+) - положительный вход дифференциального опорного сигнала.
14. AIN5 - пятый аналоговый вход.
15. AIN6 - шестой аналоговый вход.
16. AGND - земля аналоговой части.
17. CS - инвертированный вход. При подаче логического нуля включается SPI АЦП. (Chip Select)
18. DRDY - инвертированный вход. Вход показывает готовность АЦП выдать информацию.
19. DOUT - MISO-линия SPI (Master-In, Slave-Out)
20. DIN - MOSI-линия SPI. (Master-Out, Slave-In)
21. DV - питание цифровой части.
22. DGND - земля цифровой части.

Передача данных между МК и АЦП проходит по SPI. Для этого в АЦП имеется 8 регистров.

Первый из них представляет собой Communication Register, который управляет выбором аналогового канала, решает, какая следующая операция (чтение или запись) последует, а также решает, какие регистры будут доступны для следующей операции чтения или записи. Communication Register является восьмиразрядным регистром, из которого данные могут быть считаны, либо в который данные могут быть записаны. Любая работа с АЦП начинается с записи в этот регистр (табл.1).

Таблица 1

SPI Communication Register

0/ DRDY	RS2	RS1	RS0	R/W	CH2	CH1	CH0

0/ DRDY - для операции записи в этот бит должен быть записан логический ноль. Если записана «1», то остальные биты будут проигнорированы.

RS2 – RS0 - биты выбора регистра. RS2 является старшим битом (MSB) из трёх.

Таблица 2

Биты выбора регистра

RS2	RS1	RS0	Регистр	Размер регистра, бит
0	0	0	Communications Register	8
0	0	1	Mode Register	8
0	1	0	Filter High Register	8
0	1	1	Filter Low Register	8
1	0	0	Test Register	8
1	0	1	Data Register	16 или 24
1	1	0	Zero-Scale Calibration Register	24
1	1	1	Full-Scale Calibration Register	24

CH2 – CH1 - выбор канала. Эти три бита задают канал или для преобразования, или для доступа к калибровочным коэффициентам. Существуют три пары калибровочных регистров.

Таблица 3

Биты калибровочных регистров

CH2	CH1	CH0	AIN(+)	AIN(-)	Тип	Калибровочная регистровая пара
0	0	0	AIN1	AIN6	Псевдодифференциальный	Регистровая пара 0
0	0	1	AIN2	AIN6	Псевдодифференциальный	Регистровая пара 1
0	1	0	AIN3	AIN6	Псевдодифференциальный	Регистровая пара 2
0	1	1	AIN4	AIN6	Псевдодифференциальный	Регистровая пара 2
1	0	0	AIN1	AIN2	Дифференциальный	Регистровая пара 0
1	0	1	AIN3	AIN4	Дифференциальный	Регистровая пара 1
1	1	0	AIN5	AIN6	Дифференциальный	Регистровая пара 2
1	1	1	AIN6	AIN6	Тестовый режим	Регистровая пара 2

Второй регистр – Mode Register, который определяет режим калибровки и настройки усиления. Восьмиразрядный регистр, из которого данные можно считать либо записать.

Таблица 4

Mode Register

MD2	MD1	MD0	G2	G1	G0	BO	FSYNC

Третий регистр — Filter High Register, который определяет длину слова, какие, биполярные или однополярные, сигналы отцифровывать АЦП и содержит старшие 4 бита настройки фильтра.

Четвертый регистр — Filter Low Register, который содержит младшие 8 бит выбора настройки фильтра.

Пятый регистр — Test Register, доступ к которому осуществляется при тестировании устройства.

Шестой регистр — Data Register, из которого осуществляется доступ к выходным данным.

Седьмой регистр — Zero Scale Calibration Register, который позволяет получить доступ масштабных коэффициентов вблизи нуля каждого аналогового канала.

Восьмой регистр — Full Scale Calibration Register позволяет получить доступ к масштабным коэффициентам вблизи максимальных значений каждого канала.

Рассмотрим основные функции разработанного программного кода:

Функция обмена данными с АЦП:

```
unsigned char my_transfer(byte b)
{unsigned char btl;
boolean DRDY_flag = true;
while (DRDY_flag){
   if (digitalRead(DRDY_pin)==0){
      DRDY_flag=false;}}
digitalWrite(SS_pin,LOW);
btl=SPI.transfer(b);
DRDY_flag = true;
while (DRDY_flag){
   if (digitalRead(DRDY_pin)==0){
      DRDY_flag=false;}}
digitalWrite(SS_pin,HIGH);
return btl;}
```

Идет проверка пина DRDY на готовность обмена данными АЦП с МК. Когда он готов обменяться информацией, ему отсылается байт информации и принимается один байт.

Функция получения значения напряжения:

```
double getData()
{
  double data = 0;
  unsigned long int bt1;
  unsigned long int bt2;
  unsigned long int bt3;
  my_transfer(B01011000);
  my_transfer(0xFF);
  my_transfer(0xFF);
  my_transfer(B01011000);
  bt1=my_transfer(0xFF);
  data = ((bt1>>4)&0x0F)*16*16*16;
  data += ((bt1)&0x0F)*16*16;
  bt2=my_transfer(0xFF);
  data += ((bt2>>4)&0x0F)*16;
  data += ((bt2)&0x0F);
  return data;
}
```

Данная функция возвращает значение от 0 до 65535, соответственно равное напряжению от 0 В до 5 В.

Таким образом, мы получили прототип устройства, измеряющего угол поворота алидады навигационного секстана с заданной точностью. Остаётся проделать программную и физическую работу по устранению шумов. Программная часть будет заключатся в

разработке алгоритмов для усреднения и фильтрации шумов, а физическая - в перенесении устройства на печатную плату с целью избавления от получаемых на макетной плате “антенн” из проводов. В дальнейшем планируется поместить данный прототип непосредственно в корпус навигационного секстана для тестирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Д.А., Козик С.В., Выбор датчика для цифровизации навигационного секстана.// Сборник статей XXIV Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации» 15 июня 2019 г. г. Пенза. - С. 12-16
2. 16mm Rotary Potentiometers. KLS4-WH148 Series.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/WH148.pdf (01.07.2019)
3. Arduino Uno R3 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.fecegypt.com/uploads/dataSheet/1522237550_arduino%20uno%20r3.pdf (01.07.2019)
4. AD7714 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7714.pdf (01.07.2019)

POTENTIOMETER AS AN ANALYZER SENSOR OF A NAVIGATION SEXTAN

Bazhenov D., Bogatyrenkov S.
forfoxford@mail.ru
Supervisor: Sergey Kozik, professor
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint-Petersburg.

The problem of Autonomous determination of the coordinates of the vessel location is one of the key problems in navigation safety. In connection with the development of technology, as well as digitalization of all spheres of life, it is necessary to improve existing analog devices. This article describes the procedure of connecting the electronic components and the development of a program to digitize values received from the potentiometer for the digitalization of navigation sextant.

УДК 621.43

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА КЛАССА МИКРО «ЖЕМЧУЖИНА» ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЙ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ

А.М. Бражникова, А.М. Бражников
brazhnikova_98@mail.ru
Научный руководитель: Е.В. Мельников, к.т.н., доцент
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара

Аннотация: В настоящее время мониторинг малых водоемов производиться не столь должным образом, каким должен был. Для решения проблемы экологического мониторинга предлагается создать автономный подводный аппарат класса микро, который сможет работать в условиях ограниченного пространства для маневра. А для его обслуживания. будет требоваться один специалист с минимальной квалификаций.

Большинство аппаратов для мониторинга состояния океанов имеют большие размеры и предназначены для выполнения длительных миссий (от нескольких дней до не скольких месяцев). Они способны проходить большие расстояния и погружаться на значительные глубины. Применение океанических аппаратов в условиях малых водоёмов затруднено, а иногда вообще не возможно. В связи с этим актуальна задача разработки подводных аппаратов, способных работать и производить измерения в условиях рек, озёр, водохранилищ и т.д.

Работа в условиях малых водоёмов предъявляет ряд технических требований к разрабатываемому аппарату:

- небольшие габариты.
- Высокая маневренность.
- Небольшая (сравнительно) глубина погружения.
- Небольшая энерговооружённость.

Как правило, в ходе мониторинга производится измерение не отдельного параметра среды, а сразу нескольких. Анализ множества параметров позволяет дать более точную оценку экологического состояния водоёма [1].

Аппарат имеет небольшие габариты. Длина корпуса 540 мм, размах рулевых плоскостей 240 мм, масса 840 грамм. Размеры позволяют ему передвигаться в условиях мелководья и ограниченного пространства для манёвра.

Аппарат имеет цилиндрический корпус - монокок (обеспечивает жёсткость конструкции и герметичность внутреннего пространства), выполненный из 4-х миллиметрового акрила. Это позволяет аппарату погружаться на глубину до 100 метров.

Как и большинство миниатюрных подводных лодок, данная разработка не имеет балластных цисцерн, это означает, что плавучесть аппарата постоянна и всегда равна нулю (или немного больше). Маневрирование в горизонтальной и вертикальной плоскости осуществляется за счёт пары рулевых плоскостей в передней части корпуса. Дополнительное хвостовое оперение позволяет аппарату сохранять курсовую устойчивость при движении.

Аппарат способен работать в двух режимах:

- автоматические мисии по мониторингу состояния водоёмов. В этом режиме пореатор при помощи координат GPS задаёт фарватер (набор точек) в которых необходимо произвести измерения. После запуска, субмарина становится полностью автономной. В надводном положении она движется от одной точке к другой, при подходе к очередной отметке, она погружается на установленную глубину. Затем происходит всплытие и корректировка своего положения. В течение всего пути движения происходит измрения всех параметров с заданной периодичностью.
- полуавтоматические мисси по забору образцов воды с различных глубин. В этом режиме оператором задаётся одна точка на карте и глубина погружения. На поверхности субмарина движется по указанным координатам, затем происходит вертиальное погружение на глубину. Отбор проб происходит в специальный контейнер, размещаемый в передней части аппарата. Объём пробы составляет 300 мл. После возвращения контерейнер с образцом извлекается и заменяется на новый [2].

Структура субмарины приведена на рисунке 2. Аппарат имеет цилиндрический корпус - монокок (обеспечивает жёсткость конструкции и герметичность внутреннего пространства), выполненный из 4-х миллиметрового акрила (3). Это позволяет аппарату погружаться на глубину до 100 метров.

Силовая установка - коллекторный мотор 370 класса (7), толкающий гребной винт - импеллер (9). Передача крутящего момента через водонепроницаему преборку (отделяет внутренне вространство парата от водной среды) осуществляется посредством специально сконструированной магнитной муфты (11). Максимальная скорость движения аппарата составляет 4 км/ч.

Как и большинство миниатюрных подводных лодок, данная разработка не имеет балластных цисцерн, это означает, что плавучесть аппарата постоянна и всегда равна нулю (или немного больше). Маневрирование в горизонтальной и вертикальной плоскости осуществляется за счёт пары рулевых плоскостей (4,5) в передней части корпуса. Дополнительное хвостовое оперение (10) позволяет аппарату сохранять курсовую устойчивость при движении.

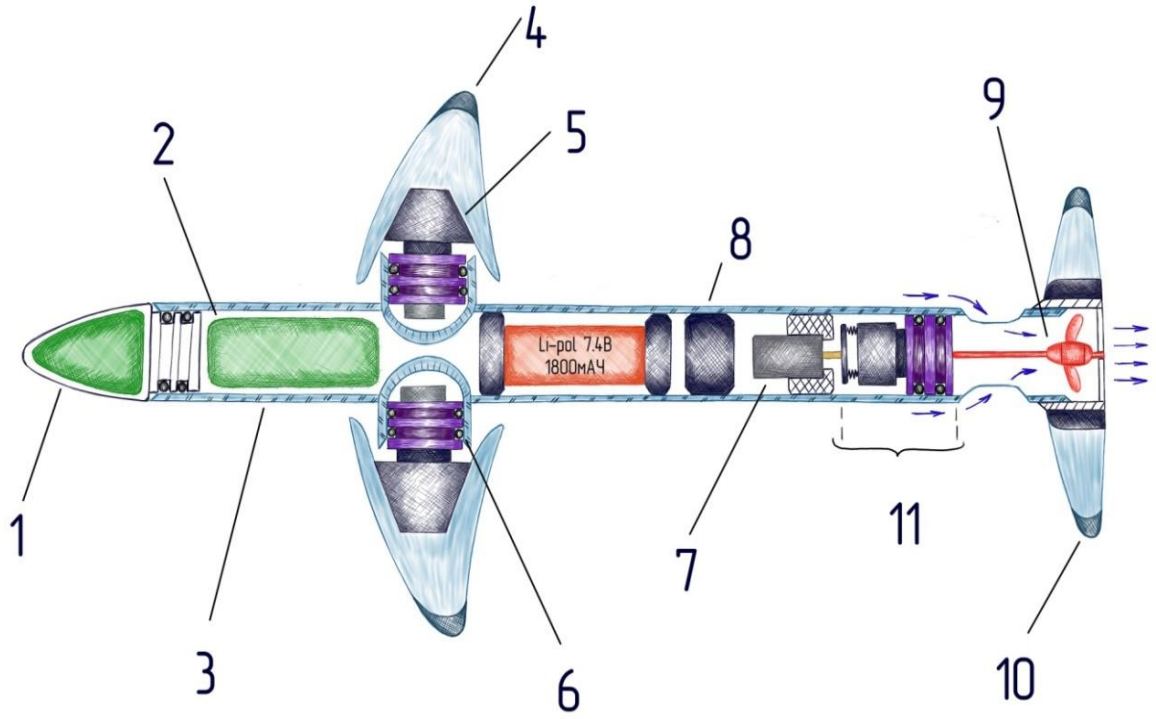


Рис. 1. Автономный подводный аппарат «Жемчужина». Размещение элементов.

В головном обтекателе располагается комплекс датчиков (1), собирающих всю необходимую информацию о параметрах водоёма.

Электронный блок управления (3) расположен в предней части корпуса, в нём расположены система управления движением аппарата, средства связи и система сбора, накопления и первичной обработки информации, поступающей с датчиков. Ориентирование в надводном положении осуществляется при помощи системы GPS, в подводном положении работает инерциальная система навигации.

Проблема при использовании инерциальной системы навигации - накопление погрешности [3]. Однако, при непродолжительных погружениях, накапливаемая ошибка остаётся в допустимах пределах, коррекция глубины погружения осуществляется за счёт барометрического глубиномера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *С.А. Бахарев, В.В. Карасев, А.В. Карасев.* Использование автономных необитаемых подводных аппаратов в процессе изучения мирового океана // Научные труды Дальрыбвтуза. - 2012.;

2. *Л.Бачаров.* Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития // Электроника. - 2009. - №7.;

3. *В.И. Соловьёв, П.Г. Шабалов,* Инерциальные навигационные системы. Учебное пособие. Сам.: Издательство СГАУ, 2011. 74 с.

DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE OF THE MICRO CLASS “PEARL” FOR MONITORING SMALL RESERVOIRS

A.M. Brazhnikova, A.M. Brazhnikov

brazhnikova_98@mail.ru

Supervisor: E.V. Melnikov, Ph.D., Associate Professor

FSBEI of HE "Samara State Technical University", Samara

Annotation: Currently, monitoring of small reservoirs should not be properly. To solve the problems, an autonomous underwater device of the micro class should be created, which should work in conditions of limited space for maneuver. And for his service. one specialist with minimum qualifications will be required.

УДК 629.57

ВЫБОР СХЕМЫ ДЛЯ ПРОГУЛОЧНОГО ЭКРАНОПЛАНА

Ненашкина П.А
nenach00@mail.ru
Научный руководитель: Н.В. Левшонков, к.т.н., доцент кафедры КиПЛА
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г.Казань)

В работе рассматривается транспортное средство для ознакомительных экскурсий. Выявлено, что прогулочные катера, широко применяемые в настоящее время, не достаточно комфортны, а полет на гидросамолете имеет высокую стоимость 1 часа. Данное исследование направлено на выбор схемы для прогулочного экраноплана, рассчитанного на 5-6 человек. В результате определена наиболее подходящая схема.

В настоящее время для прогулочных поездок по воде предпочтение отдают катерам, но с учетом того, что сейчас экраноплан постепенно набирает популярность, то в будущем он мог составить серьезную конкуренцию, так как современные технологии позволяют это.

На катере волнение затрудняет плавание, вызывает качку, сильная волна осложняет работу гребного винта, который вместе с кормой может периодически оголяться. В момент оголения носа и особенно винта судно сразу же становится сильно подверженным действию ветра и сбивается с курса.На волне труднее выбрать и удержать заданный курс. На мелководье волнение не только мешает управлять судном, но может вызвать повреждение днища корпуса от удара о дно или поломку руля и винта. Сильные удары волн могут повредить корпус, механизмы, причинить другие неприятности и более того, это может служить угрозой жизни человека.

Если рассмотреть экраноплан, то у него есть значительные преимущества. Его специфика заключается в способности к устойчивому приэкранному режиму крейсерского полета на небольших высотах : они очень живучи, в случае аварии они могут просто совершить посадку на воду даже при сравнительно большом волнении, то есть экраноплан обладает возможностью самостабилизации по высоте, крену и тангажу (дифференту), что обеспечивает безопасность полета.

Экранопланы – транспортные суда будущего. Впечатляющая грузоподъемность экранопланов делает из этих аппаратов идеальный транспортный корабль, способный перевозить людей и грузы над водными просторами. Суть заключается в создание возможности беспрепятственного перемещения людей в труднодоступные регионы.Особое значение этот проект имеет для развития Сибири, Дальнего Востока и северных районов страны.Именно поэтому экранопланы видятся сегодня конструкторам, прежде всего, как пассажирский транспорт. Самые перспективные проекты этих самолетов-кораблей могут перевозить от 40 до 200 пассажиров, или от 50 до 600 тонн, летать со скоростью 500 км в час и не бояться 3-метровой волны.

У экраноплана есть множество плюсов по сравнению с современными самолётами и судами, так как они сочетают в себе качества как тех, так и других:

- экранолёты гораздо безопаснее обычных самолётов, так как в случае обнаружения неисправности в полёте амфибия может сесть на воду даже при сильном волнении;
- экранопланы быстрее судов на воздушной подушке, так как достигают скорости в 500 километров в час;
- экранопланы экономичнее, чем самолёты, из-за специфики полёта;(во время полета на экране они тратят на 30% меньше топлива, чем традиционные самолеты);
- экранопланам не нужен аэродром, достаточно небольшой акватории или ровного участка суши;
- малозаметность для радаров в результате полета на высоте нескольких метров.

Были рассмотрены следующиевиды аэродинамических схем:

- нормальная схема, характеризующаяся задним расположением горизонтального оперения по отношению к крылу.
- схема утка, отличительным признаком которой является расположение горизонтального оперения перед крылом.
- летающее крыло или бесхвостка, не имеющие оперения.

Нормальная схема

Нормальная схема позволяет добиться устойчивости аппарата наиболее простым, надежным способом и на всех режимах полета путем выбора соответствующих параметров оперения.

Эффективность горизонтального оперения в этой схеме заметно зависит от его расположения по отношению к крылу, что сказывается на архитектурном облике аппарата.

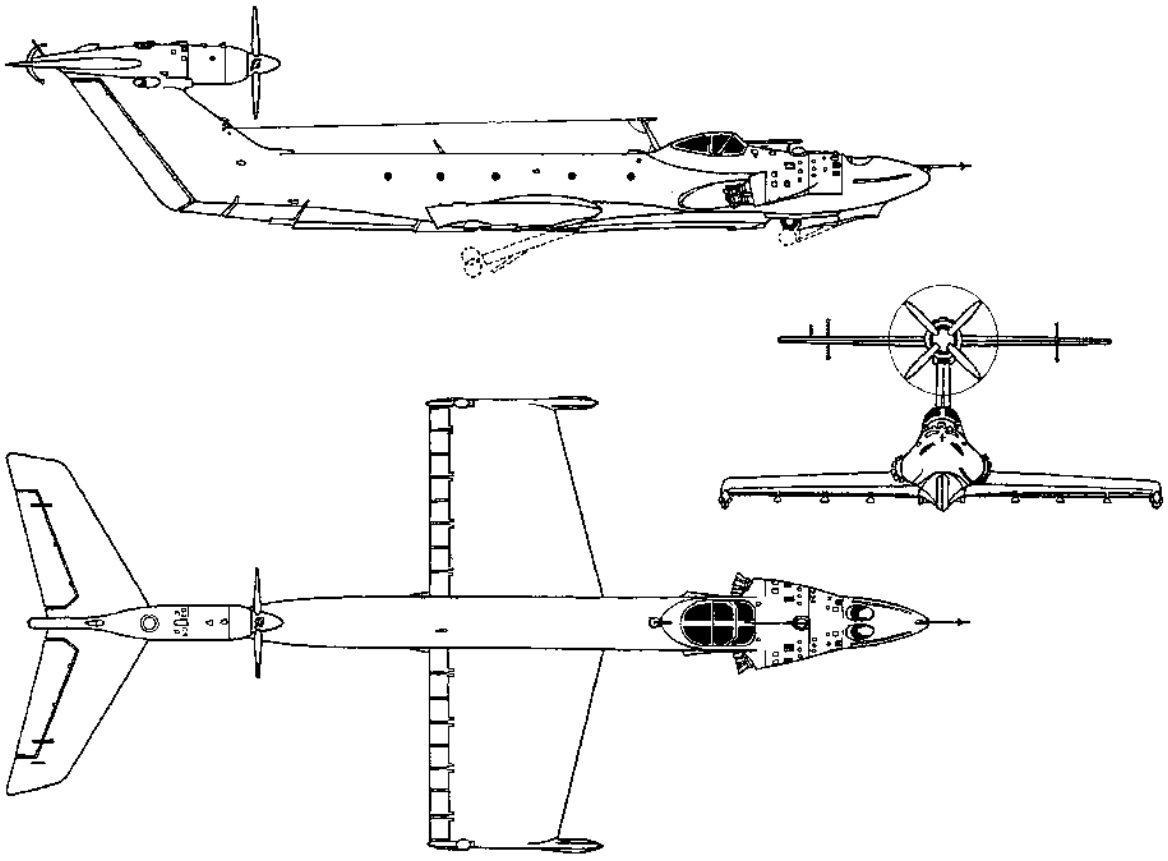


Рис. 1 Экраноплан нормальной схемы

Возможны следующие варианты размещения оперения:

- центральное, то есть расположенное по оси симметрии аппарата, которое может быть размещено или вблизи плоскости хорд крыла или высоко над ней.
- разнесенное, находящееся за пределами размаха крыла и выполненное в виде двух раздельных несущих поверхностей (так называемая, схема Манта).

От положения оперения зависит влияние скоса потока за крылом. На экраноплане он имеет тенденцию к увеличению из-за малости удлинения, но одновременно уменьшается благодаря влиянию экрана. Поэтому выбор варианта расположения должен производиться на основании несколько иных соображений по сравнению с самолетом.

При центральном расположении влияние скоса потока носит неблагоприятный характер - уменьшается разнос фокусов по углу атаки и высоте, так как фокус по углу атаки смещается вперед, а фокус по высоте - назад. Уменьшить этот недостаток можно только поднятием

горизонтального оперения по отношению к крылу.За пределами размаха крыла направление скоса потока меняется на противоположное и влияние его становится положительным. Однако использовать этот фактор затруднительно по конструктивным соображениям. Горизонтальное оперение расчленяется на две, независимо работающие аэродинамические поверхности с вдвое уменьшенным удлинением, а значит с пониженным значением производной dCy/dα прямо влияющую на эффективность оперения.

Размещение оперения в этой зоне связано с дополнительными конструктивными издержками в виде двух балок для крепления оперения, которые будут загружены более неблагоприятным образом, хвостовая часть фюзеляжа с обычным оперением. Кроме того такая компоновка оперения увеличит общие габариты аппарата, а это в свою очередь затруднит его эксплуатацию в стесненных условиях современных морских и речных портов: маневрирование, швартовку, проход узостей. Поэтому данную схему аппарата вряд ли можно считать целесообразной.

Схема-утка

Благодаря весьма специфической аэродинамической схеме горизонтального оперения, названной авторами оперением с обратной щелью, было получено довольно необычное свойство - вблизи экрана при увеличении угла атаки подъемная сила не только не увеличивалась, а даже падала, то есть производная dCy/dα могла принимать отрицательные значения. Таким способом удалось добиться устойчивости аппарата, подтвержденной довольно длительными испытаниями нескольких аппаратов.

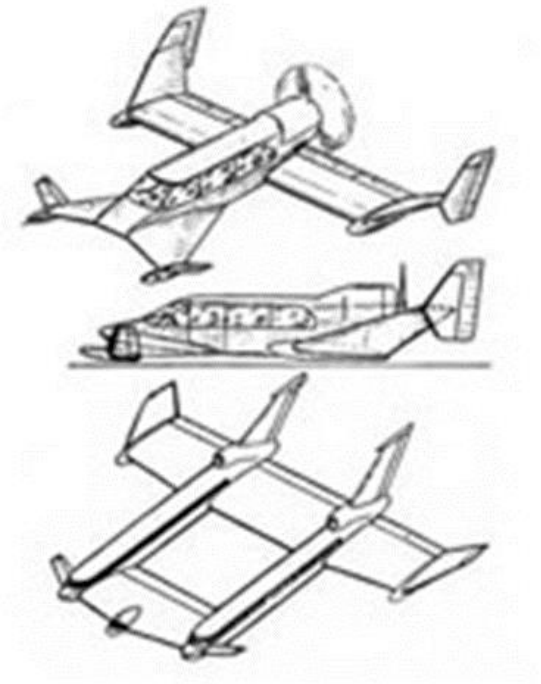


Рис. 2 Экраноплан схемы утка

Оперение смещает фокус по углу атаки вперед, в то время как фокус по высоте остается практически на месте и оказывается расположенным позади фокуса по углу атаки; условие устойчивости полета вблизи экрана, таким образом, оказывается нарушенным. То есть,вне экрана такой аппарат становится неустойчивым, так как оперение восстанавливает свои обычные свойства ($Cy/d\alpha \geq 0$), и экраноплан становится неустойчивым по тангажу. Этот недостаток данной схемы следует расценивать как весьма серьезный, так как экраноплан должен обладать способностью летать вне экрана, хотя бы со значительными ограничениями, необходимой для решения таких задач как облет неожиданно возникших препятствий, перелет в другой район через сушу и т. д.

Кроме того,еще один недостаток заключается в том, что схема отработана при полетах над идеально гладкой поверхностью замерзшего озера, при которых можно допустить очень малое расстояние от экрана, которое обеспечивает упомянутый характер работы оперения; взлет с воды не предусматривался. Очевидно, взволнованная поверхность воды сильно затруднит полет данного аппарата и особенно его взлет из-за возможности зарывания оперения в воду.

Схема – бесхвостка

Она является наиболее привлекательной для крупноразмерных экранопланов прежде всего хорошим эксплуатационным свойствам. Благодаря своей компактности аппараты этой схемы наилучшим образом приспособлены к маневрированию в стесненном пространстве современных морских и речных портов, швартовке, погрузке-разгрузке и т.д. Они же имеют наиболее простую конструкцию и позволяют удобно разместить полезную нагрузку внутри крыла. Отсутствие оперения, корпуса дает надежду на уменьшение аэродинамического сопротивления. Поэтому не случайно имеется большое число проектов таких аппаратов и построенных образцов, правда, не доведенных должным образом.

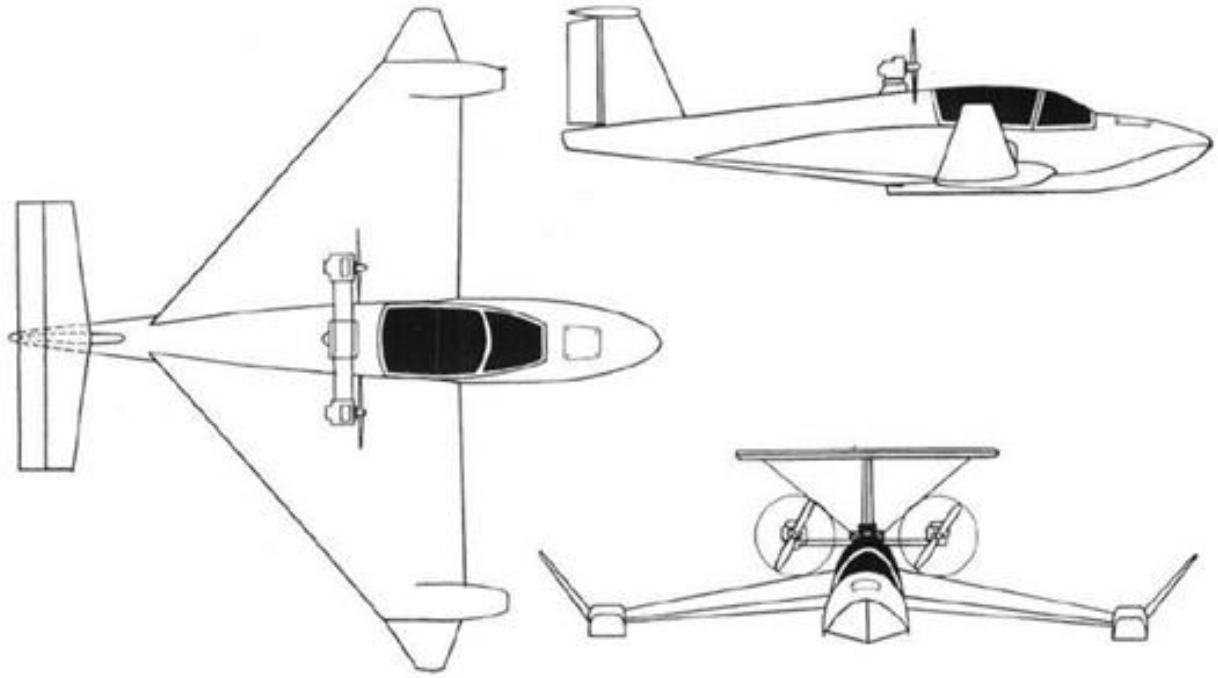


Рис. 3 Экраноплан схемы бесхвостки

Главным недостатком этой схемы является отсутствие собственной устойчивости при движении вблизи экрана. Это объясняется более передним расположением фокуса по углу атаки по отношению к фокусу по высоте. Правда эта неустойчивость является слабовыраженной и проявляется в виде медленно расходящегося движения, с которым пилот может без особых усилий справляться. Опыт самолетостроения показывает, что эта схема не имеет особой выгоды с точки зрения аэродинамического сопротивления из-за больших потерь на балансировку и характеризуется низкими значениями коэффициента, подъемной силы при взлете и посадке.

Таким образом ,изучив все типы схем экраноплана, был сделан вывод, что схема бесхвостка является наиболее подходящей для совершения экскурсий. Учитывая ее характеристики, она имеет больше преимуществ по сравнению с остальными схемами:как упоминалось выше схема бесхостка приспособлена к маневрированию и к комфортному

размещению, что является благоприятным и безопасным условием для данного рода деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Булыгин А.В. Особенности короткопериодического возмущенного движения и выбор параметров горизонтального оперения экраноплана / А.В. Булыгин, А.М. Карчевский // Авиационная техника. М.: Известия вузов, 1998. - Вып. 2. -С. 67-72.

2. Карпов А.И. Исследование динамики управления автоматической системой наблюдения, установленной на борту экраноплана / А.И. Карпов // Известия вузов. Авиационная техника. М.: 1998. - Вып. 2. - С. 49-53.

3. Хайруллин А.Р. Расчет некоторых параметров движения экраноплана для транспортировки нефтепродуктов / А.Р. Хайруллин , А.Л. Гусев // В сборнике: Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство Сборник научных статей международной научной конференции. Казань, 2019. С. 64-66.

THE CHOICE OF THE SCHEME FOR PLEASURE EKRANOPLAN

Nenashkina P.A

nenach00@mail.ru

Supervisor: N.V.Levshonkov, candidate of technical sciences,
assistant professor

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

The paper deals with a vehicle for study tours. It was revealed that pleasure boats that widely used at present are not comfortable enough and a seaplane flight has a high cost of 1 hour. This study is aimed at choosing a scheme for a walking ekranoplan designed for 5-6 people. As a result, the most suitable scheme was determined.

УДК 629.7 021

ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ ОПЕРЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЭКРАНОПЛАНА.

Смышляев О.Ф.

oleg_sm97@mail.ru

Научный руководитель: А.Л. Гусев, ст. преподаватель

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань

Аннотация**.** Одной из проблем в проектировании летательного аппарата является обеспечение необходимой балансировки, управляемости и устойчивости. В данной статье проводится исследование влиянии различных схем оперения на устойчивость экраноплана.

Сложность обеспечения хороших характеристик устойчивости и управляемости экраноплана заключается в малой изученности данного вида летательного аппарата. Полет в приэкранной зоне накладывает повышенные требования к обеспечению устойчивости экраноплана в продольной плоскости, в поперечной же обычно проблем не возникает.

Устойчивость экраноплана можно оценить по взаимному расположению центра масс, фокусов по углу атаки и по высоте. Известно, что горизонтальное оперение летательного аппарата смещает фокус назад по углу атаки, и за счет этого обеспечивается обычная статическая устойчивость летательного аппарата по углу атаки.

На экранопланах, имеющих самолетную схему, обычно применяется высокорасположенное горизонтальное оперение, которое как это считалось, благодаря большой относительной высоте над экраном, не «чувствует» экран и, поэтому, не влияет на

положение фокуса по высоте. Однако, проведенные экспериментальные и теоретические исследования показали, что само оперение и высота его расположения существенно влияют на положение фокуса по высоте, даже в том случае, когда относительная высота расположения оперения над экраном исключает возможность прямого воздействия близости экрана на оперение. [1]

Выяснили, что причина этого явления- изменение скоса потока за крылом. Для экраноплана скос потока существенно зависит не только от коэффициента подъемной силы, от высоты полета над экраном, но и так же от аэродинамической схемы ЛА. У обычного самолета балансировка и устойчивость в полете обеспечивается горизонтальным оперением, расположенным в хвостовой части фюзеляжа. Размещение оперения, в зоне интенсивного изменения скосов потока за крылом при изменении отстояния, приводит к возникновению на оперении дополнительных моментов в том же направлении, что и на крыле, а в следствии этого, к еще большему смещению центра давления всего аппарата.

Для пассажирских экранопланов так же как и для самолетов можно выделить следующие аэродинамические схемы:

1. "Нормальная" схема, если горизонтальное оперение располагается сзади несущего крыла;
2. "Утка" - горизонтальное оперение располагается впереди крыла;
3. "Летающая платформа" - разновидность схемы "утка" с малым удлинением основного крыла λ=0.5;
4. "Летающее крыло", в которой отсутствует горизонтальное оперение;
5. "Гибрид", в котором горизонтальное оперение располагается как спереди, так и сзади крыла, т.е. гибрид схемы "утка" и "нормальной".

Аэродинамическая схема "летающее крыло".

Примером данной схемы экраноплана может служить экраноплан разработанный шведским конструктором И.Троенг «Аэробот»

Наибольшее аэродинамическое качество, как известно, имеют ЛА аэродинамической схемы "летающее крыло", так как минимальны потери на балансировку, но для обеспечения устойчивости необходимо применять крутку крыла, на которой обеспечивается $m_z^{\alpha} \leq 0$ и на крейсерском режиме не требуется отклонять элевоны. На практике для обеспечения устойчивого полета используют так называемые S- образные профили крыла для схемы "летающее крыло". Из-за трудностей обеспечения устойчивости полета схема "летающее крыло" не получила широкого распространения.

Аэродинамическая «нормальная схема».

По данной схеме выполнено большое количество летательных аппаратов. Среди всех можно выделить работы российского конструктора Р.Е. Алексеева (СМ-5, СМ-8, «Лунь»)

Аппараты рассматриваемого класса, выполненные по "нормальной" аэродинамической схеме, обладают продольной устойчивостью как при полете вне зоны влияния опорной поверхности, так и при полете вблизи опорной поверхности, что достигается применением на них сильно развитого и далеко вынесенного вверх ГО.

Существенным недостатком такой компоновки ЛА является то, что у них не используется в зоне влияния опорной поверхности от 20 до 30% суммарной площади крыла и горизонтального оперения. При этом балансировочная сила ГО, направленная вниз, существенно уменьшает подъемную силу аппарата, следовательно, и его аэродинамическое качество.

По предварительным расчетам получения аэродинамического качества более $K > 20$ в такой схеме проблематично.

Помимо проблемы обеспечения устойчивости, конструкторы ЛА "нормальной" аэродинамической схемы столкнулись с проблемой их балансировки на малых относительных отстояниях полета, $\bar{h} = h/b_A < 0.1$ где b_A- средняя аэродинамическая хорда

крыла. Так при уменьшении отстояния значительно возрастает подъемная сила основного крыла, что вызывает необходимость увеличения балансировочной силы ГО. При полете ЛА "нормальной" схемы на малых относительных отстояниях эффективность руля высоты для создания необходимой балансировочной силы оказывается недостаточной, а увеличение площади ГО или применение цельно-поворотного стабилизатора неизбежно повлечет за собой увеличение лобового сопротивления ГО и аппарата в целом, увеличение потерь на балансировку и рост массы ГО, что в конечном итоге снизит аэродинамическое качество и экономическую эффективность ЛА. [2]

Другая проблема ЛА "нормальной" схемы также связана с управляемостью заключается в том, что в случае перехода с одного установившегося режима горизонтального полета на другой (изменение отстояния полета или скорости), пилоту неизбежно предстоит координированное действие по крайней мере двумя рычагами продольного управления. В качестве одного из них будет рычаг управления двигателем, а в качестве другого- рычаг управления рулем высоты. Сложность пилотирования, которая усугубляется отсутствием "запаса" высоты и возможностью ошибки управления, неизбежно потребует применения дорогостоящих быстродействующих САУ.

Аэродинамическая схема "утка".

По данной схеме выполнены экранопланы АДП-04 М, АДП-07.

Проблемы устойчивости и аэродинамического качества находятся не в противоречии, а во взаимосвязи в аэродинамической схеме "утка" с тандемно расположенными несущими поверхностями основного крыла и переднего горизонтального оперения (ПГО). В такой схеме ПГО создает дополнительную подъемную силу, а не отрицательную, как у "нормальной" схемы, оно находится в зоне влияния опорной поверхности, что обеспечивает создания на нем достаточной балансировочной силы. Аппараты схемы "утка" могут использоваться на малых и сверхмалых относительных отстояниях полета $\bar{h} = h/b_A < 0.1$, при этом могут быть получены большие значения аэродинамического качества по сравнению с "нормальной" схемой.

Использование аэродинамической схемы "утка" привлекает еще и тем, что вследствие разгрузки основного крыла подъемной силой ПГО, уменьшается индуктивное сопротивления крыла и потери на балансировку, что характерно и для самолетов, выполненных по данной схеме.

При управлении ЛА схемы "утка" появляется возможность при переходе с одного установившегося горизонтального режима полета на другой, использовать только один рычаг управления, например, пилоту достаточно управлять тягой двигателя для уменьшения скорости, что вызовет уменьшение отстояния полета или рулем высоты, установленном на ПГО, уменьшить угол атаки аппарата, что приведет к уменьшению отстояния от опорной поверхности. В любом случае ЛА будет отвечать на управляющее воздействие своим положением в пространстве- углом атаки и отстоянием центра масс от опорной поверхности. При больших относительных отстояниях полета ЛА схемы "утка" потребуется координированное управление вследствие уменьшения влияния на ПГО опорной поверхности. По этой же причине данная аэродинамическая схема теряет продольную устойчивость при полете на больших относительных отстояниях из-за смещения фокуса по отстоянию аппарата назад по отношению к фокусу по углу атаки $\bar{x}_{f_{\bar{h}}} > \bar{x}_{f_\alpha}$, что ограничивает диапазон эксплуатационных отстояний полета аппарата на аэродинамической подушке.

Для расширения диапазона эксплуатационных отстояний схемы "утка" целесообразно использовать такое конструктивное решение, которое бы позволило совместить достоинства рассмотренных схем. Такими достоинствами располагает схема "гибрид", у которой в дополнение к ПГО имеется высокорасположенное заднее ГО, обеспечивающее устойчивость при отходе ЛА от опорной поверхности. Применение двух ГО, несмотря на улучшение

устойчивости, ухудшает весовую отдачу, так как масса конструкции при этом существенно возрастает.

Заключение.

По имеющимся данным можно сделать вывод, что для обеспечения хороших характеристик устойчивости экраноплана наиболее целесообразным конструктивным решением является применение переднего горизонтального оперения в схеме "утка", которое обеспечивает необходимую устойчивость и самостабилизацию в широком диапазоне отстояний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гайнутдинов В. Г.* О расчетно-экспериментальных исследованиях при настройке аппаратной части беспилотного самолета вертикального взлета и посадки / *Гайнутдинов В. Г., Гайнутдинова Т. Ю., Левшонков Н. В., Гайнутдинова А. В.* // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2018. - №4. – С. 91-96.

2. Гусев А. Л. О разработке программы испытаний теплозащитных покрытий в составе летательного аппарата / *Гусев А. Л., Камалетдинов Н. Н., Зинатуллин А. В.* // Фундаментальные и прикладные разработки в области технических и математических наук: сб. науч. статей. – Казань, 2018. – С. 40-42.

3. *Крылосова А. А.* Об экспериментальных исследованиях макета глубоководного планера / *Крылосова А. А., Гусев А. Л., Левшонков Н. В.* // Фундаментальные и прикладные разработки в области технических и физико-математических наук: сб. статей. - Казань, 2018. - С. 41-43.

4. *Одареев В.А.* К проблеме устойчивости летательного аппарата вблизи взволнованного экрана // Асимптотические методы в теории систем.– Иркутск: СЭИ, 1982.-С. 102-106.

INFLUENCE OF THE OPERATION SCHEME ON THE SUSTAINABILITY OF THE EKRANOPLANE.

Smyshlyaev O.F.

oleg_sm97@mail.ru

Supervisor: A. L. Gusev, Senior Lecturer

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan

Annotation. One of the problems in the project is to ensure balance, manageability and sustainability. This article examines the effect of various feathering patterns on the sustainability of an ekranoplane.

УДК 629.12

ВЫБОР ТИПА АППАРЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА РЕЧНОГО ПАРОМА

Тарновская В.А.

nika-tarn12@yandex.ru

Научный руководитель: Князьков В.В., к.т.н., доцент

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород

Данная работа посвящена выбору и моделированию конструкции аппарели в САПР SolidWorks. В докладе рассматривается телескопическое аппарельное устройство на речном пароме грузоподъемностью 100 тонн.

Паромы необходимы для обеспечения транспортного сообщения между двумя берегами в местах отсутствия по той или иной причине мостов. Для приема на палубу транспортных средств на паромах предусматривается установка аппарельного устройства. Наличие носового и кормового аппарельного устройства обеспечивает движение парома, как носом, так и кормой, что позволяет подходить судну к причальной стенке без разворота.

В настоящее время разработано большое количество различных конструкций аппарелей: по размещению на судне – носовые, кормовые, бортовые; по ориентации относительно диаметральной плоскости судна – осевые, угловые; по типу привода – электрические, электрогидравлические, гидравлические; по типу конструкции – поворотные, телескопические, односекционные, многосекционные [1].

На речных паромах наиболее часто встречаются односекционные аппарели или складные двухсекционные аппарели, установленные в кормовой и (или) носовой оконечностях в диаметральной плоскости. Обычно складные и односекционные аппарели небольших размеров по длине, соответственно, недостаток заключается в том, что зачастую такие виды аппарелей не могут использоваться с необорудованного берега.

В данной работе рассматривается телескопическое аппарельное устройство на речном пароме грузоподъемностью 100 тонн. Судно будет иметь возможность принимать технику как с оборудованного, так и с необорудованного берега. Конструкция телескопического аппарельного устройства позволит при принятии техники уменьшить угол подъема и, следовательно, технику можно будет принимать без дополнительных устройств.

Поставленная задача решалась в следующей последовательности: выбор конструкции аппарели, расчет прочности элементов, выбор приводной системы и моделирование аппарельного устройства в SolidWorks [2].

Конструкция аппарельного устройства состоит из трех секций – ведущей, ведомой и опорного основания. В качестве привода подъема/спуска аппарели используется электромеханический привод, а межсекционного – гидравлический привод.

Телескопическое аппарельное устройство (рис. 1) содержит ведущую секцию 1, шарнирно установленную посредством петли 5 на корпусной конструкции 7 и соединенную с ней посредством троса 9, проходящего через стойку 6, с приводом от электробрашпиля 8.

На боковых балках ведущей секции 1 установлены гидроцилиндры 4, которые приводят в действие ведомую секцию 2. Ведомая секция 2 перемещается по продольным направляющим с помощью катков. К ведомой секции 2 шарнирно присоединено опорное основание 3.

Раскладывание аппарельного устройства состоит в следующем: ведущая секция 1 под действием силы тяжести при работе электробрашпилей 8 на «травление» опускается в рабочее положение. Затем при необходимости (необорудованный берег) выдвигается ведомая секция 2 с помощью гидроцилиндров 4.

Для фиксации грузового барабана электробрашпиля в рабочем положении предусматривается стопор, который механически блокирует вращение грузового барабана электробрашпиля. Фиксация стопором обеспечивает дополнительную безопасность после автоматического отключения электробрашпиля.

Складывание аппарельного устройства производится в обратной последовательности. Для предотвращения заваливания аппарели на палубу судна устанавливаются ограничители с датчиком касания, нажатие на который автоматически останавливает электробрашпиль. Для крепления аппарели в походном положении предусматривается цепной стопор.

На рис. 1 представлена модель телескопического аппарельного устройства, созданная в SolidWorks.

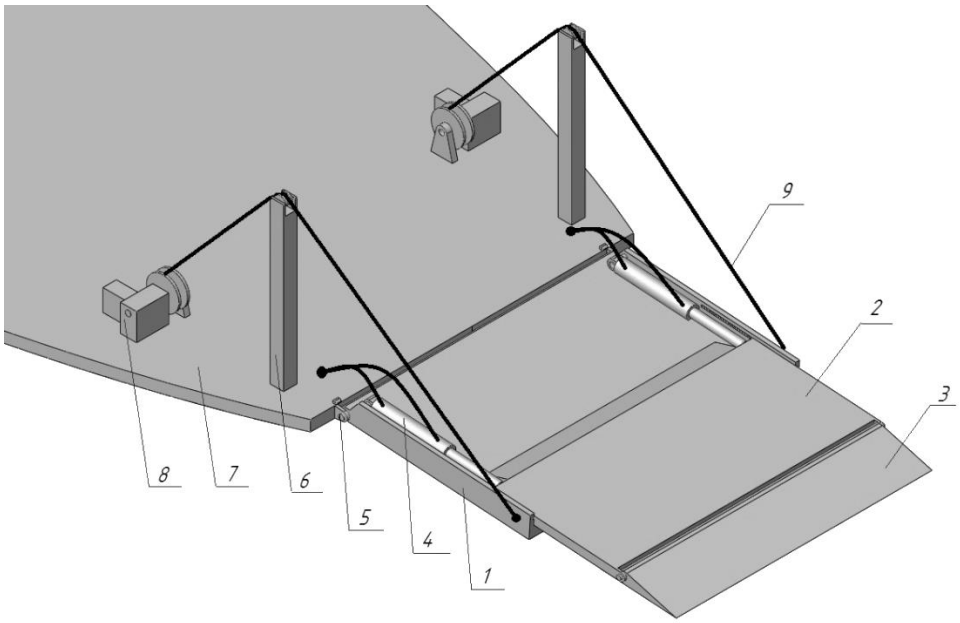


Рис. 1. Рабочее состояние аппарельного устройства:
1- ведущая секция; *2* – ведомая секция; *3* - опорное основание;
4 - гидравлический привод; *5* – петля; *6* -стойка;
7 – корпусная конструкция; *8* –электробрашпиль; *9* – трос

На рис. 2 представлена аппарель при приеме техники с необорудованного берега. Угол между горизонтом и аппарелью равен 20^0. Длина аппарели позволяет транспортным средствам подняться на палубу судна безопасно, без повреждения корпуса техники.

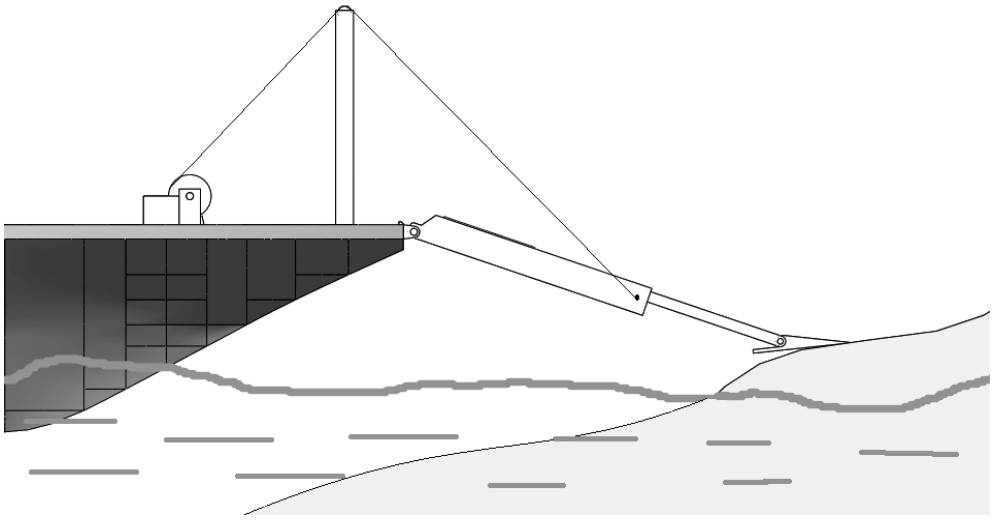


Рис. 2 – Рабочее положение аппарели
при приеме техники с необорудованного берега

Таким образом, спроектированное телескопическое аппарельное устройство удовлетворяет условиям прочности, выдерживает эксплуатационные нагрузки, обеспечивает безопасную загрузку/выгрузку транспортных средств. Разработанное телескопическое аппарельное устройство может быть рекомендовано к установке на судах с горизонтальной грузообработкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Судовые устройства: Справочник / Под ред. М.Н. Александрова. Л.: Судостроение,

1987. – 656 с.

2. *Князьков В.В.* Компьютерные технологии в кораблестроении: учеб. пособие / В.В. Князьков; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2015. – 130 с.

SELECTION OF TYPE OF APPAREL DEVICE OF A RIVER FERRY

Tarnovskaya V.A.

nika-tarn12@yandex.ru

Supervisor: Knyazkov V.V., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod

This paper is devoted to the selection and modeling of the structure of the ramp in CAD SolidWorks. The report discusses a telescopic ramp device on a river ferry with a lifting capacity of 100 tons.

УДК 67.02

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Филиппова М.С.

lukankina.mariya@mail.ru

Научный руководитель: Ф.М. Галимов, доктор технических наук, профессор

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной работе на основании анализа особенностей процесса изготовления крупногабаритных композиционных (опытных) конструкций горячими методами формования сформулированы требования к процессу контроля качества таких конструкций и описаны проблемы, требующие дальнейшего изучения и проработки.

Полимерные композиционные материалы находят все большее применение в судостроении. Среди преимуществ их применения в этой сфере народного хозяйства можно выделить уменьшение веса корпуса, отсутствие необходимости сварки, снижение радиолокационной заметности, экологическую безопасность, более простую эксплуатацию, пожаро- и взрыво- безопасность.

Композиционные материалы на основе высокопрочных волокон больше всего удовлетворяют комплексу перечисленных выше требований. Кроме этого, для процесса изготовления конструкций из композиционных материалов характерны снижение материалоемкости конструкции, увеличение до 90% коэффициента использования материала, уменьшение количества оснастки, снижение трудоемкости изготовления конструкции за счет уменьшения в несколько раз количества входящих в нее элементов. Указанные выше преимущества непосредственно ведут к снижению себестоимости изделия за счет снижения производственных затрат и повышению качества изделия, что является необходимым условиям в современных реалиях.

Цель данной работы - провести анализ особенностей изготовления крупногабаритных конструкций из композиционных материалов горячими методами формования и сформировать требования к процессу контроля качества таких конструкций.

Главная особенность создания конструкций из композиционных материалов, в отличие от традиционных конструкций, заключается в том, что конструирование материала, разработка технологического процесса изготовления и проектирование самой конструкции – это единый взаимосвязанный процесс, в котором каждая из составляющих не исключает, а дополняет и определяет другую. Триада «материал – конструкция – технология» является неразделимой.

В связи с этим традиционный процесс разработки изделия, включающий последовательное выполнение этапов проектирования, конструирования, технологической подготовки и изготовления как правило нереализуем. При разработке конструкций из

композиционных материалов необходимо все этапы создания изделия выполнять параллельно, обеспечивая полное взаимодействие работы конструкторских, технологических подразделений, рабочих и иных специалистов (создание так называемых многофункциональных групп), занятых в работах по созданию изделия. Речь идет о так называемом процессе параллельного инжиниринга. Принцип параллельного инжиниринга предполагает выполнение процессов разработки и проектирования одновременно с моделированием и подбором технологических процессов (приемов) изготовления и эксплуатации изделия. При применении данного принципа идентификация проблемных моментов, недостатков может быть проведена еще на этапе проектирования, что приведет к сокращению затрат, улучшению качества и надежности изделия.

Параллельный инжиниринг в композитном производстве реализуется с применением принципа сквозного проектирования. Сквозное проектирование - принцип организации групповой работы с возможностью мгновенного обновления повторяющихся графических данных на всех чертежах проекта. Реализация данного принципа возможна с использованием современного программного обеспечения, оборудования, электронного документооборота и информационной системы обеспечения жизненного цикла создаваемого изделия, наличия высококвалифицированного персонала.

Еще одной отличительной особенностью процесса изготовления конструкций из композиционных материалов горячим методом ваккумного формования является наличие специализированного программного обеспечения, применяемого для разработки:

- электронных и математических моделей,
- электронных моделей мастер-моделей,
- электронных моделей заготовок мастер-моделей,
- управляющей программы для станка с ЧПУ для заготовок,
- управляющей программы для станка с ЧПУ для изготовления мастер-моделей,
- управляющей программы для раскроечного центра,
- раскроя ткани,
- программы процесса инфузии (для изготовления матриц из ПКМ),
- позиционирования матрицы в рабочем поле лазерных проекторов,
- выкладки с использованием лазерных проекторов
- контроля качества (геометрический и неразрушающий контроль) и т.п.

Необходимо применение в процессе производства такого специализированного оборудования, как 5-ти координатный станок с ЧПУ (обрабатывающий центр), раскроечный центр, установка RTM, печи (с компьютерным управлением), автоклава, лазерного проектора, шерографа/ томографа/ дефектоскопа, лазерного трекера.

Обеспечение высокого качества и надежности конструкций из композиционных материалов (с учетом приведенных выше особенностей процесса изготовления) невозможно без применения современных методов контроля на всех стадиях производственного цикла. Стоит отметить, что каждой стадии соответствуют свои методы контроля.

Конструкции из композиционных материалов – сложный объект контроля, так как для него характерна существенная неоднородность структуры, анизотропия свойств, большое разнообразие типов армирования, специфические физические свойства. Основные требования, предъявляемые к контролю конструкций из композиционных материалов, заключаются в следующем:

1 Вероятность того, что доброкачественное изделие будет забраковано, должна иметь некоторое определенное значение, которое будет определяться чувствительностью и точностью применяемых методов и аппаратуры.

2 Вероятность принятия изделия низкого качества (дефектного) должна иметь некоторое определенное значение, зависящее от квалификации контролеров, эффективности применяемых методов и аппаратуры.

3 Применяемый метод или аппаратура должны обеспечить непрерывность проведения контроля технологических процессов.

4 Метод и аппаратура должны обеспечить сплошной контроль всех выпускаемых изделий [1].

Контроль по своим признакам может быть разрушающий, неразрушающий, аналитический и метрологический. Наиболее широкое применение получили аналитические и разрушающие методы контроля, которые дают возможность определить объективные абсолютные параметры материалов и изделий. Например, для определения одного из ключевых параметров – прочности - необходимо разрушить изделие с соблюдением режимов нагружения, вида нагрузки и обеспечения условий окружающей среды. Аналитические в большинстве случаев тоже являются разрушающими, так как связаны с изготовлением специальных образцов, взятием проб. Данным методам присущая высокая точность результатов измерения и контроля. Разрушающие и аналитические методы контроля не выполняют условия сплошного контроля всех выпускаемых изделий, не позволяют выявить изменение свойств конкретного изделия в процессе эксплуатации, не обеспечивают непрерывность измерений, не позволяют определить внутренние дефекты в материале изделия без его разрушения. Метрологический контроль направлен на определение точности и чувствительности применяемых методов и средств измерительной техники, аттестацию методик измерений, поверку, калибровку, проверку технических средств, проведение метрологической экспертизы документации.

Наиболее подходящими методами контроля при данном виде изготовления являются неразрушающие методы контроля качества. В соответствии с [2] неразрушающий контроль – область науки и техники, охватывающая исследования физических принципов, разработку, совершенствование и применение методов, средств и технологий технического контроля объектов, не разрушающего и не ухудшающего их пригодность к эксплуатации. В [3] описаны виды и методы неразрушающего контроля.

Методам неразрушающего контроля присуще следующие свойства:

1 Возможность осуществления эффективного контроля на различных стадиях изготовления конструкционных элементов, в эксплуатации и при ремонте.

2 Согласованность времени, затрачиваемого на контроль со временем работы другого технологического оборудования

3 Высокая достоверность результатов контроля

4 Возможность механизации и автоматизации контроля технологических процессов, а также управление ими

5 Высокая надежность аппаратуры, применяемой при неразрушающем контроле и возможность использования ее в различных условиях

6 Простота методик контроля [1].

Наличие высококвалифицированного персонала, применение принципов параллельного инжиниринга, сквозного проектирования, правильно подобранное технологическое оборудование, средства измерительной техники, обеспечивающие точность измерения, диагностики и контроля, специализированное программное обеспечение, наличие программ и методик измерения и контроля – минимальный набор обязательных атрибутов при организации композитного производства. На сегодняшний день особо остро стоит проблема интеллектуализации методов и средств неразрушающего контроля и диагностики, разработка единой системы контроля качества изделий, совершенствование технологии диагностирования, организационное обеспечение неразрушающего контроля и диагностики на международном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1 *Воробьев, В.В.* Контроль качества изготовления и технология ремонта композитных конструкций/*В.В. Воробьев, В.Б. Маркин*. – Изд-во: Межрегиональный центр электронных образовательных ресурсов, 2015. – 310 с.

2 ГОСТ Р 53697-2009 (ISO/TS 18173:2005). Контроль неразрушающий. Основные термины и определения. – Введ: 2016-06-01. - М.: Стандартинформ, 2010 год

1 ГОСТ Р 56542-2015. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – Введ: 2017 – 01 – 01.–М: Стандартинформ, 2016

FEATURES OF CONTROL OF THE MANUFACTURING OF ELEMENTS OF STRUCTURES FROM COMPOSITION MATERIALS

Filippova M.S.

lukankina.mariya@mail.ru

Supervisor: F.M. Galimov, doctor of technical sciences, professor

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

In this paper, based on the analysis of the features of the manufacturing process of large-sized composite (experimental) structures using hot molding methods, the requirements for the process of quality control of such structures are formulated and problems that require further study and study are described.

УДК629.7 (05)

РАЗРАБОТКА БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ПОМОЩИ ПРИ ПИЛОТИРОВАНИИ ОДНОМЕСТНОГО ЭКРАНОПЛАНА

Хайдаров Д.Р., Хайруллин А.Р.

dayan.khaidarov@mail.ru

Научный руководитель: А.Л. Гусев, ст. преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

В данной статье описывается научно-исследовательская работа по разработке бортовой системы помощи при пилотировании одноместного экраноплана. Была выполнена работа по сбору и анализу различных систем и оборудований, необходимых для реализации данной системы в экраноплане. На основе анализов собранных материалов сделан выбор необходимых систем и оборудования по различным требованиям.

На сегодняшний день пилотирование экраноплана является весьма трудным из-за ряда факторов, таких как: отсутствие опыта пилотирования данного транспортного аппарата у большинства пилотов; сверхмалое количество пилотов, имеющих практику пилотирования экранопланов. Отсутствие какого-либо развития авиапарка экранопланов в наши дни, сказывается на тенденции к забвенью данного вида транспортного аппарата. Однако, экраноплан является наивыгоднейшим транспортным средством в местах со слабо развитой сетью автомобильных и железных дорог. Экранопланы обладают большей эффективностью по сравнению с существующими транспортными средствами (самолетами, вертолетами), из-за отсутствия необходимости оборудованных взлетно-посадочных полос. Они обладают высокой скоростью, амфибийностью, надежностью и всепогодностью.

Основными проблемами пилотирования экраноплана являются: проблемы старта; обеспечение устойчивости (стабилизации) экраноплана при полете на малых отстояниях от опорной поверхности, где в большей мере реализуется преимущества транспортного аппарата данного класса.

В ходе научно-исследовательской работы по разработке одноместного экраноплана на базе разработанного ранее проекта сверхлегкого экраноплана (СЛЭП-2) в 1992 годусоставом научно-исследовательской группы предложен вариант создания бортовой системы помощи при пилотировании экраноплана. В состав данной системы входят оптико-электронная система визуализации и система автоматизированного пилотирования.

В качестве оптико-электронной системы визуализации важным обстоятельством выбора является ряд нормативных документов, подготовленные международными регулирующими

организациями (RTCADO–254, RTCADO–178Ви др.), которые определяют рекомендации по техническим характеристикам [1].

Система улучшенного видения (EnhancedVisionSystems (EVS)) представляет собой набор из инфракрасных датчиков различных диапазонов частот и видеодатчиков. Весь набор датчиков формирует видеосигнал, который передается на дисплей визирования, входящий в состав пилотажно-навигационного комплекса в режиме реального времени.

В процессе проектирования данной системы был предъявлен ряд требований, необходимый для пилотирования экраноплана. Система должна обеспечивать число активных пикселей не менее 1920x1080 с 20-кратным оптическим масштабированием. Необходимое фокусное расстояние должно находится в пределах 7,6...15 мм для ближнего фокуса и 170...250 мм для дальнего фокуса.

С учетом требований может бытьиспользованаFullHDкамера с трехматричным 2/3-дюймовым ПЗС-датчиком изображения HDC–P1 японской фирмы Sony. Данная камера весьма популярна для POV (PointOfView) формата. Одним из преимуществ является ее вес – 1,7 кг, что позволяет дополнительно установить тепловизионный модуль. Важной модификацией камеры является установка поляризующего фильтра на сервоприводе, который позволяет исключить солнечные засветки от поверхности воды при полете.

Стабилизации приборов оптико-электронной системы визуализации обеспечивается 5-осной активной стабилизацией линии визирования камеры с применением волоконно-оптических гироскопов с малым собственным дрейфом и цифровой системы управления сервоприводами, а также пассивной стабилизации.

Дополнительная установка в виде тепловизионного модуля на основе соединения InSb, которое обеспечивает высокую эффективность на очень больших расстояниях. InSb-детектор формирует четкие тепловизионные изображения разрешением 640x512 пикселей, на которых видны даже мельчайшие детали. Модуль работает в средневолновом инфракрасном диапазоне 3–5 мкм. Использование цифрового улучшения качества в ночное время суток позволяет отображать детали в изображениях с изначально высоким динамическим диапазонам, который возникает из-за высокой температурной разности объектов изображения.Дальность распознавания человека составляет 2750 м, а обнаружения 11000 м. В состав модуля входят: объектив MWIR (Mid-wave Infared) с фокусным расстоянием 15-300 мм; фотоприемное устройство с размером матрицы 15 мкм; плата обработки изображения, которое формирует цифровой и аналоговый видеосигналы, а также калибрует и корректирует неоднородности матрицы; разъем для подключения модуля RS-232/422 PAL/NTSC; микрокриогенная система, которая охлаждает матрицу до 80К; привод оптического масштабирования; привод фокусировки; контроллер управления объективом.

Одним из важнейших параметров, характеризирующих тепловизионные системы, является дальность обнаружения, распознавания и идентификации наблюдаемых объектов. Процесс обнаружения и распознавания объекта зависит от ряда случайных факторов и является вероятностным. Поэтому необходим критерий, позволяющий с определенной степенью достоверности принимать решение о выполнении задачи обнаружения, распознавания и идентификации. В качестве такого критерия широко применяется критерий Джонсона. Критерий Джонсона определяет следующие уровни различения в порядке повышения информативности: 1. Обнаружение (объект присутствует); 2. Распознавание (определяется класс объекта– дом, человек, судно, транспортные аппараты (ТА) и т.д.); 3. Идентификация (объект может быть описан в рамках знаний наблюдателя– тип строения (дом, гараж) тип судна (танкер, круизный лайнер).

В систему автоматизированного пилотирования входят инерциальные измерительные модули, глобальная навигационная спутниковая система, датчики положения рулевых агрегатов и электромеханическая система управляющих органов. Данная система обеспечивает автоматическую стабилизацию возмущений по курсу, крену и тангажу экраноплана; компенсацию курса по GPS; поддержку наиболее оптимальной высоты и скорости.

Последние поколения технологии MEMS в настоящее время обеспечивают высокую надежность, критическую производительность оборудования авионики, со значительными достижениями в размере, весе и стоимости.

Инерциальный измерительный модуль (IMU) включает в себя трехосевой гироскоп и трехосевой акселерометр с погрешностью ортогональности осей менее ±0,05 градусов. Каждый из датчиков, входящих в состав IMU модуля, основан на комбинации передовой технологии MEMS и схемы обработки сигнала, оптимизирующей динамические характеристики.

Глобальная навигационная спутниковая система (GNSS) как навигационный элемент включает в себя комбинацию следующих составляющих, размещенных на экраноплане: глобальная система позиционирования (GPS); система ГЛОНАСС; бортовая система функционального дополнения (ABAS), обеспечивающая навигацию на маршруте; бортовой приемник GNSS. Система содержит наземные контрольные станции, распределенные на достаточно обширной территории, одной из основных задач которых является выработка корректирующей информации из сигналов спутников GNSS и информацию о целостности. Корректирующая информация со всех контрольных станций, информация о целостности навигационных спутников обрабатывается по определенным алгоритмам в виде сообщения, содержащего широкозонные дифференциальные поправки к сигналам навигационных спутников, информацию о целостности и другую служебную информацию по каналам связи "земля–спутник связи–транспортное средство" передается в бортовые приемники GNSS посредством геостационарных спутников [2].

Для размещения приборов оптико-электронной системы визуализации на борту экраноплана была произведена оценка положения данной системы для оптимального визирования. Размещение в носовой части фюзеляжа обеспечит необходимый угол обзора, а также отсутствие вредного затенение обзора камер агрегатами экраноплана. Визирование обеспечивается благодаря вырезу носика фюзеляжа и установкой полусферы из стеклопластика для защиты приборов.

Поддержания оптимальной высоты полета экраноплана на высоте не более 4 метров можно обеспечить при помощи ультразвукового высотомера, который состоит из приемной и передающей аппаратур. Вывод информации и управление обеспечивается микроконтроллером.

Благодаря описанному выше оборудованию систем оптико-электронной визуализации и автоматизированного пилотирования будет обеспечиваться устойчивость экраноплана при пилотировании. Будет решена проблема взлета и поддержания оптимального отстояния от опорной поверхности. Дальнейшее развитие данной системы помощи пилотирования экраноплана позволит вновь возродить и эффективно использовать данный вид транспортного аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Стукалов С. Б.* Возможности практического применения оптико-электронных систем визуализации на воздушных судах / *Стукалов С. Б., Стукалов Д. С., Кондриков В. И.* // Научный вестник московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2017. - №4. – С. 135-145.

2. *Ковель М. В.* Глобальная навигационная спутниковая система (GNSS) / *Ковель М. В., Фурманова Е. А., Тюпкин М. В.* // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2010. - №6. – С. 217-219.

3. *Гайнутдинов В. Г.* О расчетно-экспериментальных исследованиях при настройке аппаратной части беспилотного самолета вертикального взлета и посадки / *Гайнутдинов В. Г., Гайнутдинова Т. Ю., Левшонков Н. В., Гайнутдинова А. В.* // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2018. - №4. – С. 91-96.

4. *Гусев А. Л.* О разработке программы испытаний теплозащитных покрытий в составе летательного аппарата / *Гусев А. Л., Камалетдинов Н. Н., Зинатуллин А. В.* //

Фундаментальные и прикладные разработки в области технических и математических наук: сб. науч. статей. – Казань, 2018. – С. 40-42.

5. *Гайнутдинов В. Г.* О проектировании лопастей воздушного винта повышенной эффективности / *Гайнутдинов В. Г., Левшонков Н. В.* // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2013. - №2. – С. 3-7.

6. *Крылосова А. А.* Об экспериментальных исследованиях макета глубоководного планера / *Крылосова А. А., Гусев А. Л., Левшонков Н. В.* // Фундаментальные и прикладные разработки в области технических и физико-математических наук: сб. статей. - Казань, 2018. - С. 41-43.

DEVELOPMENT OF ON-BOARD HELP SYSTEM WHEN PILOTING A SINGLE-SEAT EKRANOPLANE

Khaidarov D.R., Khairullin A.R.

dayan.khaidarov@mail.ru

Supervisor: A. L. Gusev, SeniorLecturer

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

This article describes the research work on the development of the on-board assistance system when piloting a single-seat ekranoplane. Work was done on the collection and analysis of various systems and equipment required for the implementation of this system in the ekranoplane. Based on the analysis of the collected materials, the choice of the necessary systems and equipment according to various requirements was made.

УДК 629.576

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВОЧНОГО АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЭКРАНОПЛАНА НА СВЕРХМАЛЫХ ВЫСОТАХ.

Хайруллин А.Р., Хайдаров Д.Р.

aibrubin@mail.ru

Научный руководитель: Гусев А.Л., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной статье описывается научно-исследовательская работа по аэродинамике околоэкранного эффекта крыла экраноплана. Рассмотрены вопросы рациональной высоты полета, обеспечения устойчивости продольного движения и путевой управляемости.

Давно установлено, что аэродинамические свойства крыла в непосредственной близости к земле заметно усложняются: существенно возрастает подъемная сила и падает аэродинамическое сопротивление. Для крупноразмерных экранопланов может быть характерна весьма малая высота полета, измеряемая десятыми и даже сотыми долями хордами крыла. На столь малой высоте характер обтекания крыла меняется качественным образом и требуется разработка специальных методов исследований и расчетов.

Крыло экраноплана по сравнению с крылом самолета работает в весьма специфических условиях и имеет место ряд явлений, которые усложняют поиск рациональных параметров аппарата. Несмотря на достаточно большой объем исследований по аэромеханике околоэкранного полета, инженеры не обеспечены соответствующими рекомендациями по выбору геометрического облика экраноплана. В представленной работе анализируются результаты теоретических и экспериментальных исследований, и делается попытка их систематизации, необходимой для практического использования.

Развитие аэродинамики околоэкранного эффекта идет по двум направлениям:

-классическое, заключающееся в том, что в методах, разработанных для безграничного потока, соответствующим образом учитывается эффект экрана;

-в направлении создания асимптотических методов, построенных на предположении, что высота полета является весьма малым параметром.

Данные методы имеют несомненный интерес для практиков, в силу своей наглядности и простоты конечных результатов, однако сопоставление результатов с данными более точных расчетов и эксперимента показывает, что сфера их практической пригодности весьма мала. Ниже изложено предложение по модификации ранее упомянутых методов. Оно заключается в разбиении плоскости течения набегающего потока на две области, связанной с профилем крыла. В нижней области под крылом имеет место одномерное течение (для профиля) или двухмерное (для крыла конечного размаха). Вычисление аэродинамических сил в верхней области может быть выполнено по линейной теории и сводится к построению картины обтекания плоскости с лежащим на ней препятствием, обводы которого неизвестны, но легко определяются с приемлемой точностью.

Одним из важных принципиально важных, но неисследованных вопросов, возникающих при проектировании экраноплана, является определение рациональной высоты полета. Существующее мнение, что положительное влияние экрана увеличивается по мере уменьшения высоты полета, не может быть принято безоговорочно, хотя в его пользу говорят результаты экспериментов в аэродинамической трубе.Околоэкранный полет обуславливает появление дополнительного сопротивления – самого экрана. Увлекаемые крылом массы воздуха, скорость которых может быть соизмерима со скоростью полета, будут неизбежно тормозиться экраном, поверхность которого далека от идеальной в отношении гладкости, и взаимодействие крыла и экрана заметно усложнится, что скажется в первую очередь на величине сопротивления. Поэтому стремление к уменьшению высоты полета с целью повышения эффекта экрана не всегда оправдано.

Немаловажной проблемой является обеспечение устойчивости продольного движения и путевой управляемости. Характеристики продольной устойчивости экраноплана в ряде черт совпадают с характеристиками обычного крылатого аппарата, но имеют значительно более сложный характер. Конкретно это проявляется в появлении новой формы возмущенного движения, критической для оценки устойчивости аппарата.

Эта новая форма движения характеризует способность экраноплана самостоятельно удерживать свое сбалансированное положение относительно экрана. Данное свойство обеспечивается определенным взаимным положением фокусов по углу атаки , высоте, а также центра масс, что связано с серьезными конструктивными и компоновочными издержками.

Анализ устойчивости летательного аппарата обычно начинают с оценки статической устойчивости. Отличие экраноплана и самолета проявляется уже на этапе анализа этого вида устойчивости.

Тот факт, что подъемная сила крыла увеличивается при приближению к экрану, не означает, что она будет меняться в точности так же на свободно движущемся аппарате. При вертикальном перемещении аппарата одновременно происходит его перебалансировка на новый угол атаки, сопровождающаяся дополнительным изменением подъемной силы. Суммарное изменение подъемной силы может оказаться прямо противоположным ожидаемому, что означает отсутствие статической устойчивости движения по высоте.

Понятие статической устойчивости для экраноплана имеет примерно такой же смысл и значение как для самолета. Оно характеризует тенденцию к движению в первый момент времени после прекращений действия возмущения, вызвавшего нарушение равновесия аппарата. У статически устойчивого аппарата после возмущения появляются соответствующие силы и момент, стремящиеся вернуть его в исходное положение. В отличие от самолета для экраноплана необходимо рассмотреть движение не только по тангажу, но и перемещение центра масс. Соответственно помимо традиционного понятия статической устойчивости по углу атаки вводится понятие устойчивости по высоте полета.

Статическая устойчивость по углу. При анализе статической устойчивости аппарата по углу атаки рассматривается его движение относительно поперечной оси, проходящей через центр масс. В этом случае экраноплан будет устойчивым относительно балансировочного

значения угла атаки, если координата фокуса по углу атаки будет находиться за центром масс.

Статическая устойчивость по высоте полета. При вертикальных перемещениях аппарата необходимо дополнительно рассматривать его степень свободы по углу атаки, так как относительно ее идет перебалансировка по моменту m_z. В итоге величина производной C_y^h, которой, аэродинамическая жесткость экранной подушки которой будет равна (1)

$$C_{усвоб}^{\bar{h}} = -C_y^{\bar{h}} \frac{\bar{\chi}_F^{\alpha} - \bar{\chi}_F^h}{\bar{\chi}_F^{\alpha} - \bar{\chi}_F^h}. \qquad (1)$$

Величину $C_{усвоб}^{\bar{h}}$ можно принять за меру статической устойчивости экраноплана. Условием устойчивости, то есть жесткости экранной подушки, является $C_{усвоб}^{\bar{h}} \le 0$.

Нетрудно видеть, что это условие требует, чтобы фокус по высоте находился впереди фокуса по углу атаки, то есть $\bar{\chi}_F^{\alpha} - \bar{\chi}_F^h \ge 0$, так как $\bar{\chi}_F^{\alpha} - \bar{\chi}_F^h \le 0$.

Это возможно только при наличии горизонтального оперения, причем оно получается значительно больших размеров, чем на самолете.

Из уравнения для $C_{усвоб}^{\bar{h}}$ следует, что для увеличения статической степени устойчивости по высоте необходима возможно большая разбежка фокусов. Но как будет видно из последующего материала, предельно переднее положение фокуса по высоте ограничивается точкой, соответствующей центру масс, по условию динамической устойчивости. В итоге, реальная величина этого показателя устойчивости оказывается ограниченной и меньшей величины C_y^h.

Окончательное заключение об устойчивости экраноплана можно получить только после исследования динамики его движения. Выведенные выше статические показатели устойчивости имеют предварительный характер и описывают необходимые, но не достаточные условия устойчивости.

К экраноплану применимы методы, разработанные для самолета, но требуется более углубленный анализ движения аппарата по высоте.

Во-первых, аппарат должен быть статически устойчив по высоте, то есть фокус по высоте должен находиться впереди фокуса по углу атаки (2):

$$\bar{\chi}_F^{\alpha} - \bar{\chi}_F^h \ge 0, \qquad (2)$$

Во-вторых, фокус по высоте должен находиться позади центра масс (3):

$$\bar{\chi}_F^{\alpha} - \bar{\chi}_F^h \le 0, \qquad (3)$$

Нарушение этого условия ведет к тому, что хотя статическая устойчивость растет, движение аппарата приобретает колебательный характер.

При реальных значениях координаты фокуса по высоте рассматриваемая форма движения имеет вид затухающих колебаний (4):

$$y = C \cdot e^{-p\tau} \sin(\omega t + d), \qquad (4)$$

Частота которого приблизительно равна жесткости экранной подушки, отнесенной к массе аппарата (5):

$$\omega^2 = \frac{C_y^h \cdot g}{b \cdot C_y}, \qquad (5)$$

где C_y – балансировочное значение коэффициента подъемной силы.

Относительный декремент затухания равен (6):

$$p = \frac{C_y^h}{C_{усвоб}^\alpha} \cdot \frac{\bar{\chi}_T - \bar{\chi}_F^h}{\bar{\chi}_T - \bar{\chi}_F^\alpha}\left(m_Z^{\omega_Z} + m_Z^\alpha\right). \quad (6)$$

В настоящее время нет обоснованных критериев оценки степени устойчивости экраноплана с точки зрения их пилотирования, но можно принять критерии, выработавшиеся в самолетостроении, а именно – частота собственных колебаний не менее 0,5 герца, относительный декремент затухания не менее 0,2…0,3 герца.

Входящее в формулу для ω^2 балансировочное значение C_y при проведении оценочных расчетов может быть принято примерно постоянным для всех классов экранопланов, в то время как два остальных параметра могут меняться в очень широких пределах.

Выполненные исследования заставляют понять, что хорошая устойчивость экраноплана лишь аэродинамическими средствами не достижима и необходимо применения автоматики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Крылосова А. А.* Об экспериментальных исследованиях макета глубоководного планера / А. А. Крылосова, А. Л. Гусев, Н. В. Левшонков // Фундаментальные и прикладные разработки в области технических и физико-математических наук: сб. статей. - Казань, 2018. - С. 41-43.

2. *Левшонков Н.В.* Методы весовой балансировки ротора сверхлегкого вертолета с соосными винтами / Н.В. Левшонков // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева, 2013. - № 2С. 5-7.

3. *Гайнутдинова Т.Ю.* О расчетно-экспериментальных исследованиях при настройке аппаратной части беспилотного самолета вертикального взлета и посадки / Гайнутдинов, В.Г., Левшонков, Н.В., Гайнутдинова //А.В. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника, 2018. -№ 4 – С. 91-96.

SOME ISSUES OF THE DESIGN AERODYNAMICS OF THE EKRANOPLANE AT ULTRA-LOW ALTITUDES.

Khairullin A.R., Khaidarov D.R.

aibrubin@mail.ru

Supervisor: A. L. Gusev, SeniorLecturer

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

This article describes the research work on aerodynamics near the screen effect of the wing of the ekranoplane. Rational altitudes, ensure the stability of the longitudinal motion and directional stability.

УДК 629.5.022

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИЛОВОЙ КОНСТРУКЦИИ БОРТА СУДНА

Шарафутдинова Р.А.

rsamper20@gmail.com

Научный руководитель: Левшонков Н.В., к.т.н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

АННОТАЦИЯ: Целью данной работы является применение трехслойных панелей с ферменным заполнителем в качестве силовой конструкции борта судна. Современные суда и корабли проектируются и производятся с учетом особых требований к безопасности и условий эксплуатации. В работе рассмотрены преимущества ферменных конструкций, а также возможность их применения в области судо- и кораблестроения.

Введение

Прочностные и весовые требования, предъявляемые к современным судовым конструкциям, непрерывно повышаются, а условия эксплуатации изделий становятся все более жесткими. Современные изделия, помимо силовых воздействий, подвергаются различным физическим воздействиям, в том числе от климатических факторов. Повышение экономичности и надёжности судов и кораблей, прежде всего, связано с возможностью уменьшения массы конструкции при сохранении прочности за счет повышении жесткости.

Корпус является основным конструктивным элементом судна. Борт представляет собой обшивку, подкрепленную системой балок, которые размещены в продольном и поперечном направлении. Для усиления прочности бортов в грузовых трюмах через каждые четыре шпации ставят рамные шпангоуты (обязательно в плоскости рамного флора). По бортам устанавливают продольные разрезные рамные балки - бортовые стрингеры. Они идут вдоль всего борта от носа до кормы, соединяясь на поперечных переборках с поперечными балками — шельфами. У носа и кормы бортовые стрингеры обоих бортов сходятся и соединяются друг с другом угловыми балками — брештуками. Между основными шпангоутами устанавливают промежуточные шпангоуты для увеличения прочности нижней части бортового перекрытия.

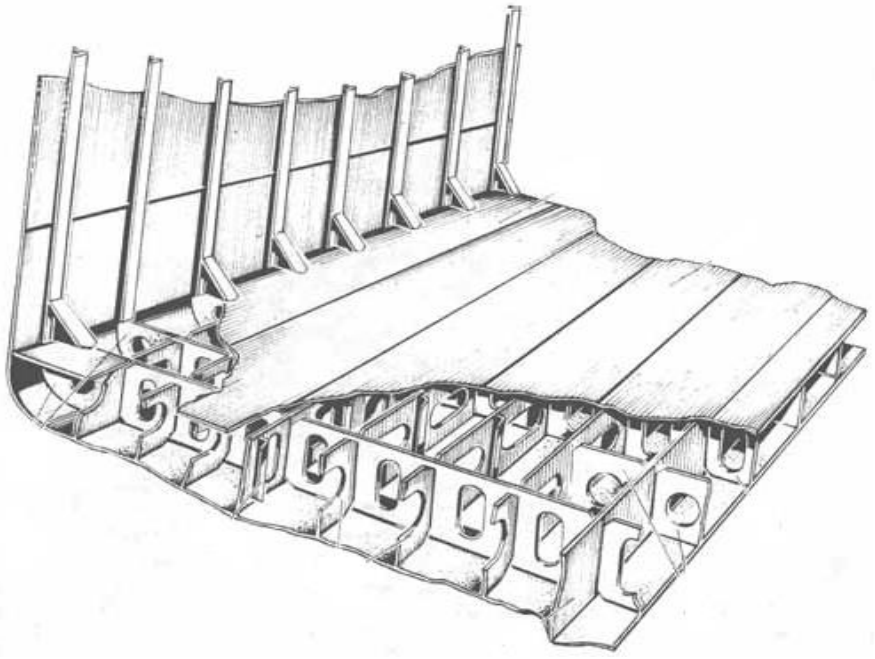


Рис. 1 – Пример конструкции борта

Борт судна – это сложная конструкция, состоящая из множества элементов. Подобная структура для борта необходима для восприятия внешних нагрузок во время эксплуатации судна и для выполнения требований Морского регистра.

Трехслойная силовая конструкция с ферменным заполнителем

При разработке конструкций кораблестроители вынуждены принимать компромиссные решения между стремлением получить минимальную массу конструкции при сохранение ее прочностных свойств. В настоящее время максимальная весовая эффективность конструкции достигается за счет применения композиционных материалов (КМ), которые имеют предельными механическими характеристиками и удовлетворимую стоимость производства.

Известны трехслойные конструкции, представляющие собой систему, которая состоит из двух внешних сравнительно тонких слоев – несущего и среднего, более толстого слоя – заполнителя. Ферменные заполнители в виде повторяющихся пирамидальных элементарных ячеек могут использоваться для поглощения ударов, регулирования температур,

электромагнитного экранирования, фильтрации жидкости, и в качестве носителя катализатора.

Анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что использование многослойных панелей позволяет наряду со снижением массы конструкции получить высокое качество формы поверхности, а также обеспечить высокую технологичность (минимум деталей, подаваемых на сборку и возможность полной автоматизации процесса изготовления самих панелей) и хорошую тепло- и звукоизоляцию.

В судостроительной промышленности требования к многослойным заполнителям определяются условиями эксплуатации. Необходимость стабильности производства конструкций с легким заполнителем становится одной из основных задач производства.

Материалы трехслойных конструкций должны соответствовать следующим требованиям:

- материал должен иметь структуру, соответствующую силовому воздействию на конструкцию непосредственноно время эксплуатации;
- пределы прочности при различных нагрузках должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к корпусным конструкциям согласно Правил РС;
-материал не должен выделять токсичных веществ или вредных запахов;
-материал должен быть негорючим;
- вес материала должен быть минимальным;
- не допускается появление трещин, усталостного выкрашивания и других дефектов,ухудшающих прочностные характеристики конструкции;
- отсутствие остаточных деформаций при длительном нагреве;
- достаточная теплостойкость материала, обеспечивающая сохранение внешнего вида конструкции

С точки зрения физико-механических свойств композиционные материалы должны обладать:

- сопротивляемостью, удовлетворяемой воздействию ударных нагрузок;
- минимальным объемным весом при необходимых прочностных характеристиках;
- достаточным запасом пластичности;
- способностью сохранять свои прочностные свойства в условиях эксплуатации;

Требования, предъявляемые непосредственно к заполнителю:

- проектная прочность заполнителя;
- совместная работа несущих слоев;
- малый объемный вес;
- простота изготовления;
- негорючесть;
- проектные тепло- и звукоизоляционные свойства;
- высокая коррозионная стойкость.

В последнее время уделяется большое внимание заполнителям, представляющим собой пространственную структуру, состоящую из повторяющихся элементовопределенной формы, стержни которой работают на растяжение и сжатие.

Ферменные заполнители являются многофункциональными, несмотря на невысокую удельную жесткость заполнителей по сравнению с сотовыми, благодаря открытому пространству между стержнями:

-ферменные заполнители одновременно могут быть использованы в качестве теплообменника;

-за счет отсутствия замкнутых полостей увеличивается коррозионная стойкость;

-ферменные заполнители являются наиболее пригодными для образования структур с сложной геометрией по сравнению с другими типами заполнителей;

-ферменные заполнители могут быть использованы в зонах с ударными нагрузками, с регулированием температуры, фильтрации жидкости, и формирования носителя катализатора.

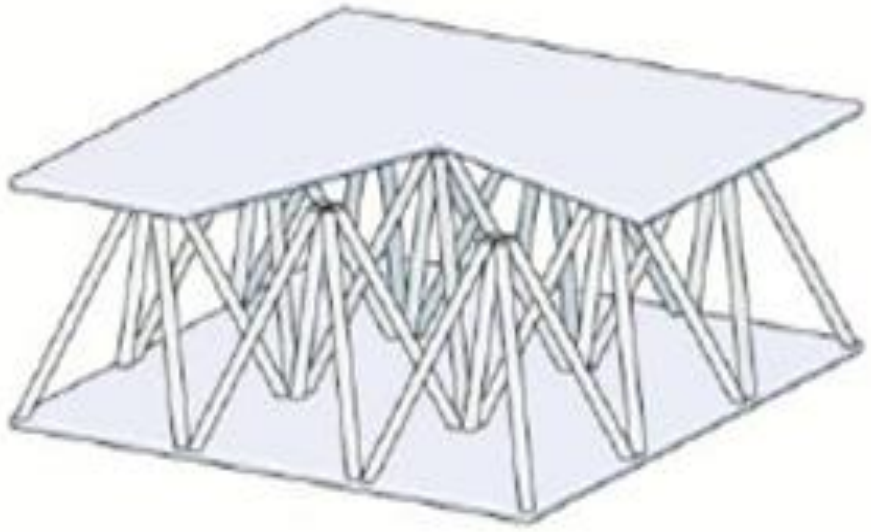


Рис. 2 – Трехслойная конструкция с ферменным заполнителем в виде пирамидальных ячеек

Преимущества трехслойных конструкций в области кораблестроения

Трехслойные конструкций имеют ряд преимуществ:

- экономичность;
- хорошие теплоизолирующие свойства;
-равномерная подкрепленность несущих слоев с заполнителем способствует снижению концентраций напряжений;
- выносливость слоистых конструкций;
- большой срок службы;
-отсутствие операций правки и устранения концентраций напряжений при изготовлении;
- невысокая трудоемкость изготовления и сборки.
- уменьшение расхода металлов при изготовлении за счет повышения жесткости конструкции

Особенностью применения ферменного заполнителя является создание элементов изделий с заранее заданными свойствами, наиболее соответствующими характеру и условиям работы деталей конструкции.

Для современногосудостроения большое значение имеет увеличение срока службы, снижение воздействия на окружающую среду, минимизация размеров агрегатов, доступность материалов и др. В связи с этим используемые материалы должны обладать такими свойствами, как надежность, технологичность, экономичность, ремонтопригодность, контролепригодность и др.

Заключение

В результате данного исследования можно сделать выводы:

1. Современные конструкции корпуса нуждаются в новых конструкторских решениях для придания конструкции большей прочностных свойств при наименьшем весе;
2. Применение КМ хоть и позволяет повысить механические свойства конструкции, не является конечным решением поставленной задачи;
3. Прогрессивным решением рассматриваемой задачи является применение ферменных заполнителей, обладающих рядом уникальных характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абдуллин И.Н.* О Расчете проектных значений относительной плотности стержневого заполнителя для трехслойной конструкции / *И.Н. Абдуллин, С.М. Мусафи Сафави, А. Джафарзаде* // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2019. №2. С. 78-83.

2. *Гайнутдинов В.Г.* О построении диаграмм ограничений при определении проектных параметров жёсткости и прочности ферменного заполнителя / *В.Г. Гайнутдинов, Т.Ю. Гайнутдинова, И.Н. Абдуллин* // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2018. Т. 17. №4. С. 27-36.

3. *Абдуллин И.Н*. Расчетные и экспериментальные исследования жесткости и прочности трехслойных конструкций с заполнителем в виде повторяющихся пирамидальных ячеек / *И.Н. Абдуллин* // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. Т. 71. № 1. С. 5-11.

4. *Гайнутдинов В.Г.* Условия разрушения пирамидальных и тетраэдальных ячеек ферменных заполнителей / *В.Г. Гайнутдинов, С.М. Мусави Сафави, И.Н. Абдуллин // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. Т. 71. № 2. С. 11-15.*

5. *Абдуллин И.Н.* Механические и прочностные характеристики ферменных заполнителей с различной структурой ячеек / *И.Н. Абдуллин* // В сборнике: НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ РОССИЙСКОЙ АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием. 2018. С. 111-114.

NEW SOLUTIONS FOR POWER SHIP STRUCTURE

Sharafutdinova R.A.
rsamper20@gmail.com
Scientific adviser: Levshonkov N.V., Ph.D.
Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan

ABSTRACT: The purpose of this work is the use of sandwich panels with truss filler as the strength structure of the ship's side. Modern ships and ships are designed and manufactured taking into account the special requirements for safety and operating conditions. The paper discusses the advantages of truss structures, as well as the possibility of their use in the field of shipbuilding and shipbuilding.

УДК 629.12

ВОЗМОЖНОСТИ ИНЖЕНЕРНОГО МЕТОДА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ МОДЕРНИЗАЦИИ НЕОБИТАЕМОЙ ГЛУБОКОВОДНОЙ БУКСИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ «АБИСАЛЬ 3».

Шмыров И.Б. Петров И.А.
i_shmyrov@mail.ru
Научный руководитель: А.Л. Гусев, старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. Туполева – КАИ, г. Казань)

В работе рассматривается возможности инженерного метода предварительного проектирования на примере модернизации глубоководного комплекса. Дается оценка возможности модернизации.

В настоящее время среди технических средств исследования и освоения океана все больше значение приобретают необитаемые подводные аппараты. С их помощью производится:

-измерение различных океанографических и геофизических величин
-осмотр и фотографирование дна
-поиск и подъем объектов со дна
-взятие проб с грунтов
-обслуживание и ремонт стационарных установок и пр.

Необитаемые подводные объекты – зонды,аппараты, тралыи пр. могут функционировать как при неподвижном судне (привязные объекты), так и при движении судна (буксируемые

объекты). Необитаемые буксируемые аппараты получили наибольшее распространение ввиду простоты их конструкции, а так же возможности использования с различными типами буксировщиков в условиях погружения на большую глубину и буксировки с достаточно большой скоростью.

С помощью использования необитаемых глубоководных буксируемых систем (ГБС) получен значительный объем информации о гидрофизических полях океана, разведаны полезные ископаемые, обнаружены затонувшие объекты и т.п. ГБС представляют собой обширную группу ТС освоения океана, разработка которых основывается на базе гидромеханики, теории управления движением, строительной механики и ряда других отраслей. Отличительной особенностью ГБС является наличие гибкой связи в виде троса или грузонесущего кабеля между буксировщиком и самим аппаратом. Анализ поведения гибкой связи при буксировке сводится к задаче о взаимодействии ее со стационарным потоком, решением которой занимались А.Н Крылов, Н.Е. Кочина, Д.П. Скобова, А.С. Горшкова и др.

Всерьез за исследование глубин Мирового океана взялись только во второй половине 20-го века. Учитывая то что применение ГБС требует значительных трудовых и финансовых затрат за этот период было разработано и применено ограниченное количество систем. Это позволяет говорить о том, что имеется достаточный опыт их применения. Каждая система проектировалась для конкретной задачи, определенной локации и т.п. Разработкой занимались различные предприятия часто не связанные друг с другом. В связи с этим имеющихся статистических данных для проведения анализа в разработки универсальных методик проектирования.

В процессе проектирования необходимо учитывать множество факторов, например влияние морской среды – глубину погружения, температуру, плотность и т.п.; сложность определения гидродинамических коэффициентов, присоединенных масс и прочее.

Существуют различные методы проектирования выбор которых во многом зависит от практики и эрудированности проектировщиков и конструкторов. При разработке проекта особенно наранней стадии, большое значение имеет опыт конструкторов, их интуиции и изобретательности. На этапе предварительного проектирования ГБС необходимо определить, возможно ли принципиально создание системы с заданными свойствами, а так же рассмотреть возможные проектные решения.

Задачи такого рода сложно формализуются, поэтому для быстрого и успешного ее решения необходимо опираться на простые, обоснованные, имеющие четкий физический смысл решения вспомогательных задач. В случае создания ГБС такими задачами могут быть – расчет троса в установившемся движении, согласование параметров буксируемого аппарата (ГБА) с параметрами троса.

Удобно для такого рода задач использовать предложенный в Ю.А Ксенофонтовым, А.Н. Моисеевым, С.П. Хаиповым методом предварительного инженерного проектирования, который не требует больших вычислительных затрат и не ограничивает творчество проектировщика при конкретном проектировании. Указанный метод реализован в программе NARVAL в среде MATLAB.

Для иллюстрации проведем модернизацию разработанного раннее с участием КНИТУ-КАИ глубоководного комплекса «Абиссаль 3»

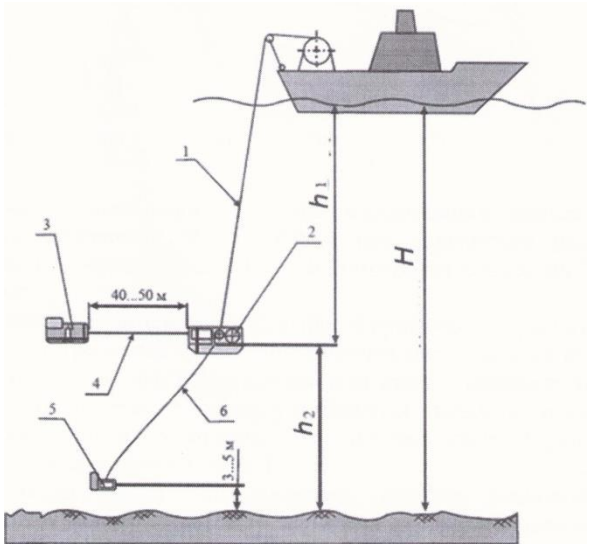
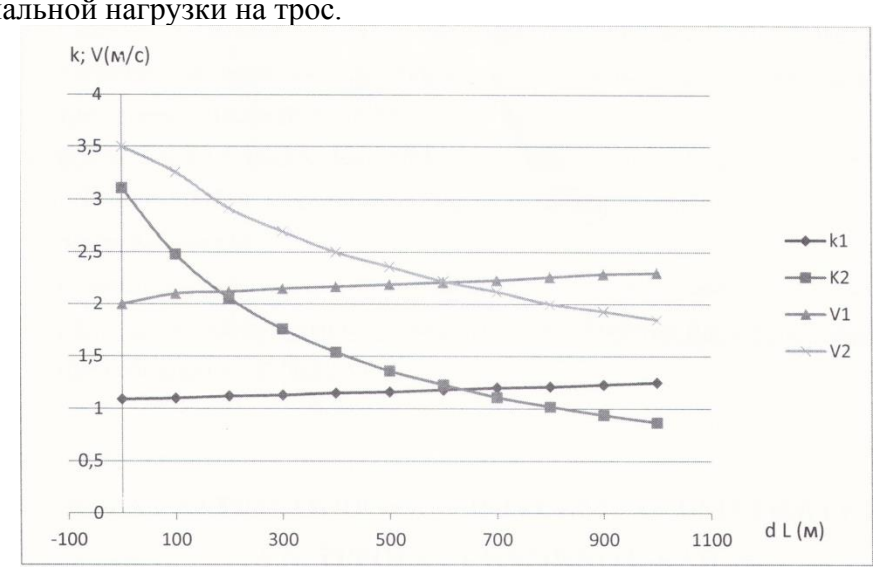


Схема комплекса приведена на рисунке. Максимальная рабочая глубина H=6000 м.

Длина буксирующего троса 1 соединяющего заглубитель (ГЗ) 2 с судном зависит от глубины буксировки, скорости судна, а так же длины троса 6. На существующем комплексе длина троса 6 позволяет отпускать фотомодуль (ФМ) 5 на расстояние до 100 м от ЗГ.

При исследовании дна со сложным рельефом актуальным становится возможность использования системы с высотой буксировки ЗГ над поверхностью дна большей, чем имеется. При этом остается необходимость в сохранении высоты буксировки ФМ над поверхностью в прежних пределах: 3-5 м. В ходе работы исследовалась возможность адаптации существующей ГБС под новые условия эксплуатации. Были определены направления доработок ГБС, основные параметры изменения элементов ГБС.

На графике показана зависимость нагруженности тросов 1 и 6 от изменения положения ЗГ над уровнем дна: здесь кривая k1- коэффициент запаса прочности троса1, а k2- коэффициент запаса прочности троса6. Видно, что при уменьшении глубины погружения ЗГ на 650 м, и соответствующего увеличения длины троса 6 достигается равноправность, для тросов 1 и 6 в зависимости от положения ЗГ, (на графике V1 и V2 соответственно), при условии максимальной нагрузки на трос.



По приведенным данным видно, что при модернизации коплекса возможно уменьшение глубины буксировки ЗГ до 650м при сохранении прежней высоты буксировки ФМ. При этом максимальная скорость буксировки составляет V=2,2м/с, при возможной ранее 2м/с.

Так как ФМ имеет незначительный вес, а трос 6 нулевую нейтральную плавучесть, для поддержания ФМ на требуемой глубине потребуется заглубляющее крыло. Площадь крыла зависит от профиля, скорости буксировки угла атаки. Например при буксировке при скорости 0,5м/с, и угле атаки площадь углубляющего крыла не превышает 0,9м^2. Элементы заглубляющего крыла так же можно использовать для маневрирования ФМ по высоте, что повысит динамику нижней части ГБС.

Предложенная модернизация ГБС позволяет обойтись минимумом затрат, с сохранением имеющихся конструкций, в то же время расширяет область применения комплекса «Абиссаль 3» для работ при исследовании дна со сложны рельефом.

Инженерный метод позволяет провести оценочные расчеты, выбрать наиболее рациональное решение из нескольких существующих, учесть влияние одних элементов системы на другие при этом, не требуя значительных мощностей и специальных квалификаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Тарасенко А.А., Логойда И.Р., Амелин В.В., и др. Технологический комплекс «Абиссаль 3» для морских глубоководных геологоразведочных работ: Патент RU106965 u1 опубликован 27.07.2011 Бюл. № 21

2. Левшонков Н.В., Гусев А.Л., определение основных проектных параметров системы стабилизации длиномерной буксируемой косы со специальными автоматическим стабилизаторами. Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 1-3 (41). С. 28-33.

3. Гусев А.Л., Першин Е.А., о расчете динамических характеристик движения сейсмической косы. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2018. № 56. С. 28-36.

4. ROCHESTER CABLES EHGINEERED CABLE SOLUTIONS FOR HARSH ENVIRONMENTS. [Электронный ресурс (журнал)] «Complete Connectivity and Sensor Solutions for

5. Commercial and Military Marine Oil and Gias.»

6. http://seaconworldwide/com/wp-content/uploads/TE_Rochester-Brand-Solutions.pdf

7. (дата оповещения: 09.06.2019)

POSSIBILITIES OF ENGINEERING METHOD OF PRELIMINARY DESIGN ON THE EXAMPLE OF MODERNIZATION OF UNINHABITED DEEP-WATER TOWED SYSTEM "ABISAL 3".

Smurov I. B. Petrov I. A.

i_shmyrov@mail.ru

Supervisor: A. L. Gusev, senior lecturer

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan.

The article discusses the possibilities of the engineering method of preliminary design on the example of modernization of the deep-water complex. The possibility of modernization is estimated.

УДК 621-144:629.526:629.5.036

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ КАТЕРА С ВОДОМЕТНЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ

Ялалтдинов А.А.
almir-55411@mail.ru
Научный руководитель: А.Б. Березовский, к.т.н., доцент
(*Казанский научно-исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань*)

Приведены и обсуждаются результаты проектирования двигателя внутреннего сгорания для катера с водометным движителем, предназначенного для туризма и отдыха.

Интерес к речным и морским катерам средних размеров (8÷12 м) в последнее время увеличивается. Это обусловлено растущей туристической индустрией и потребностями различных ведомств, связанных с надзором за безопасностью движения на водах, охраной рыбных запасов, экологией окружающей среды и т.п.

Движение катера обладает большим числом особенностей, связанных с тем, что часть корпуса судна находится в воде, а другая часть в воздухе, испытывая при движении аэродинамическое сопротивление. Значительное влияние на движение судна оказывает наличие и характеристики волн, а также глубина акватории в месте движения судна. Наибольшее значение при движении судна имеют силы вязкого трения и сила тяжести, влияние которых оценивается критериями Рейнольдса и Фруда. При больших скоростях и плоских обводах днища реализуется глиссирующий режим движения судна, при котором основное значение имеет сила тяжести (Fr> 3).

На катерах в качестве движителя чаще используется гребной винт, реже – водомет. Водометный движитель представляет осевой или центробежный насос, расположенный в канале, который проходит через корпус катера. Такое расположение агрегата с вращающимися лопастями повышает безопасность использования катера вблизи пляжей, при катании на водных лыжах, местах проведения водолазных работ. Кроме этого, катера с водометным движителем хорошо подходят для движения по мелководью, акваториям с плавающим мусором или растущими водорослями.

Принцип работы водометного движителя описывается законом сохранения количества движения, предложенным Эйлером. Закон говорит о том, что импульс силы, равен изменению количества движения тела за время действия силы, или равнодействующая внешних сил, действующих на объем жидкости, равна количеству движения, протекшему через контрольную поверхность, ограничивающую этот объем.

В настоящей работе для заданной мощности двигателя, равной 200 кВт при 5600 мин$^{-1}$, проведена оценка основных параметров катера с водометным движителем. Для этого использовались общепринятые допущения и методика расчета работы [1]. Выяснено, что такой двигатель хорошо подходит для катера длиной около 10 м, с внутренним каналом для водомета, имеющим диаметр на входе $D_{вх}$ = 0,16 м (без учета защитной решетки) и диаметр на выходе $D_{вых}$ = 0,13 м. В канале предлагается установить одноступенчатый осевой насос, имеющий рассчитанные коэффициент быстроходности n_S = 1100 и напор H = 1,2 м. Для привода насоса используется понижающий редуктор с передаточным отношением, равным 3,5. В результате, определенная скорость катера составляет 54 км/ч.

При проектировании двигателя для катера проведен ряд расчетов по методикам работ [2, 3]. Предварительно проведен анализ особенностей применения двигателя внутреннего сгорания для катера с водометным движителем. Выбран четырехтактный двигатель внутреннего сгорания, обладающий удобством эксплуатации и меньшим, по сравнению с двухтактным двигателем, расходом топлива. Тип двигателя определяется, в основном, характером района плавания судна. Угадать, каким топливом можно заправиться в месте пребывания в данный момент времени, достаточно сложно. Выбран бензиновый двигатель с

современной электронной системой управления. Заданную мощность решено реализовать в рядном двигателе, имеющем шесть цилиндров.

Для определения основных размеров двигателя и его характеристики проведен тепловой расчет. Результаты показали, что при степени сжатия ε = 10 диаметр цилиндра равен 100 мм, а ход поршня – 101,5 мм. Полученная внешняя скоростная характеристика, изображенная на рисунке, показывает, что в области большой частоты вращения крутящий момент заметно уменьшается с ростом частоты вращения (коэффициент приспосабливаемости двигателя $k_M = 1{,}3$), что хорошо для катерного двигателя, работающего в условиях меняющихся нагрузок. Это соответствует движению катера при волнении на акватории.

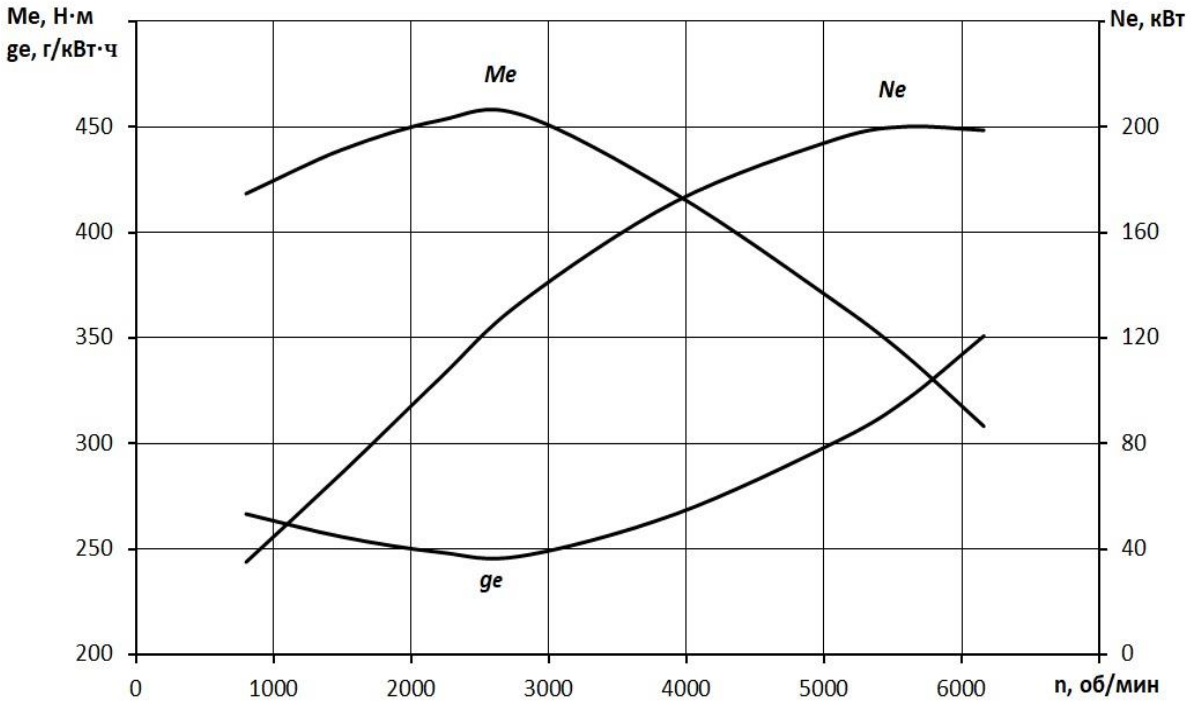


Рисунок – Внешняя скоростная характеристика двигателя

Проведенный динамический расчет позволил определить наиболее опасные режимы нагружения деталей кривошипно-шатунного механизма. Для внешне полностью уравновешенного шестицилиндрового рядного двигателя предложено применить внутреннее уравновешивание при помощи противовесов, установленных на щеках коленчатого вала.

В ходе прочностного расчета определены геометрические размеры деталей двигателя, назначены применяемые материалы. Проведен расчет газораспределительного механизма, включая определение профиля безударных кулачков распределительного вала, которые обеспечивают отсутствие резких изменений скорости и, особенно, ускорения клапана.

Привлечение данных расчетов и рассмотрение прототипов двигателя позволило разработать его конструкцию и представить ее в виде продольного и поперечного разрезов. Приведем краткое описание этой конструкции.

Блок цилиндров является цельнолитой деталью из алюминиевого сплава. В этом блоке для установки сухих гильз, изготовленных из чугуна, применена технология Nicasil (запрессованные гильзы, поверхность которых покрыта твердым износостойким никель-кремниевым покрытием). Коленчатый вал полноопорный, из высокопрочной стали 40Х. Вкладыши коренных и шатунных подшипников изготавливаются из стальной ленты, покрытой слоем бронзы и тонким слоем свинцовистого сплава. Шатуны выполнены из углеродистой стали 40ХН, двутаврового сечения, обрабатываются совместно с крышками. Поршни изготовлены из термостойкого алюминиевого сплава. Поршневой палец плавающего типа выполнен из высококачественной хромоникелевой стали 12Х2Н4А. От

выпадения он зафиксирован стопорными пружинными кольцами, расположенными в канавках бобышек поршня. Поршневые кольца изготовлены из серого чугуна СЧ 21-40, имеющего перлитовую структуру с небольшим количеством равномерно распределенных мелких вкраплений графита. Головка блока цилиндров из алюминиевого сплава, общая для всех цилиндров. В верхней части головки расположены отверстия, в которые запрессовываются направляющие втулки. Также в головке находятся опоры распределительных валов. Распределительные валы изготовлены из легированной стали 15Х. Кулачки (безударного типа) распределительного вала в соответствии с фазами газораспределения приводят в действие гидротолкатели. Выпускные клапаны – стальные 40Х9С2.

Для питания двигателя топливом применена современная система распределенного типа, которая имеет высокие показатели экономичности и малую токсичность отработавших газов благодаря электронному управлению подачей топлива. В этой системе подачу топлива к форсункам, расположенным во впускном тракте перед клапанами, обеспечивает топливный насос роликового типа. Определены основные геометрические и мощностные характеристики насоса и форсунки.

Для двигателя предложено применить комбинированную систему смазки с мокрым картером. Коренные и шатунные подшипники, опоры распределительного вала, смазываются под давлением. Расчетное давление в магистралях системы равно 0,5 МПа. Маслом, вытекающим из зазоров и разбрызгиваемым движущимися деталями, смазываются стенки цилиндров и другие трущиеся детали. Для прокачки масла используется шестеренчатый насос внешнего зацепления, чья мощность составляет 670 Вт.

Двигатель имеет жидкостную систему охлаждения, в которой рабочим телом является Тосол. Однако система охлаждения катера имеет ряд особенностей. Она двухконтурная. Внутренний контур (основной) закрытого типа, с принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости. Он включает в себя рубашку охлаждения блока цилиндров и головки, жидкостный насос центробежного типа расчетной мощностью 1,48 кВт, термостат и теплообменник. При запуске и прогреве двигателя при низкой температуре окружающей среды термостат направляет Тосол по малому кругу циркуляции «двигатель-насос-двигатель». Происходит быстрый прогрев двигателя, что способствует увеличению ресурса двигателя. При достижении заданной температуры термостат направляет охлаждающую жидкость с выхода двигателя через теплообменник на вход в насос. Температура срабатывания клапана – 75÷90°С.

Второй, наружный контур охлаждения, состоит из самовсасывающего насоса забортной воды и соединительных трубопроводов. Забортная вода насосом направляется в теплообменник, где омывая каналы, по которым течет Тосол, охлаждает его. Затем забортная вода поступает в масляный теплообменник, находящийся в нижней части поддона двигателя, где охлаждает масло. Далее вода поступает в рубашку выхлопной трубы и выбрасывается за борт.

Результаты проведенной работы показали, что с одной стороны, рассмотренное направление весьма перспективно, а, с другой стороны, требуется проведение большого объема расчетных и конструкторских работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1.*Папир А.Н.* Водометные движители малых судов. – Издательство «Судостроение», 1970. – 256 с.

2.Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учебное пособие для вузов./ *А.И. Колчин, В.П. Демидов* – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. – 496 с.

3.*Березовский А.Б., Халиуллин Ф.Х.* Двигатели внутреннего сгорания: Выпускная квалификационная работа: учебное пособие. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2017. –238 с.

THE DESIGN OF THE ENGINE FOR BOATS WITH WATER JET PROPULSION

Yalaltdinov A.A
almir-55411@mail.ru
Supervisor: A.B. Berezovsky, c.t.s., assistant professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev-KAI, Kazan)

The results of designing an internal combustion engine for a boat with a water jet engine designed for tourism and recreation are presented and discussed.

УДК 621.315.285

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ПРОКЛАДКИ ПОДВОДНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ЛИНИЙ

Яруллина Д.Р.
Dinaraa96@rambler.ru
Научный руководитель: З.Р. Идиатуллов, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

В данной работе рассматриваются этапы построения инфокоммуникационных линий, проблемы, которые встречаются при прокладывании оптических линий связи. Также рассмотрены способы защиты оптического кабеля.

Сейчас, связываясь по телефону с человеком, находящимся на другом конце света или обмениваясь данными в сети Интернет, например, на сайте другой страны, никто даже и не задумывается по какому принципу все это происходит. Это реализуется благодаря применению оптоволоконных кабелей. Для объединения людей из разных стран, континентов необходимо прокладывать оптоволоконную линию связи.

Прокладка линий связи не вызывает каких-либо проблем, если кабель прокладывается в траншеях или на линиях опоры, но прокладка кабеля на дне моря, а особенно океана вызывает возрастание затруднений, а также и стоимости проекта. Глубина, подводный рельеф, высокое давление, малая доступность определяют требования к конструкции линий связи, оптических усилителей, разветвителей, соединительного оборудования и прочего.

Укладка кабеля подразумевает также и строительство специального корабля, укладывающего кабель, применение глубоководного оборудования, аппаратов для зарывания кабеля в грунт и другого оборудования. Но все затраты оправдываются благодаря высокой помехозащищенности, широкой полосе пропускания, минимальному уровню шумов, высокой защите от несанкционированного доступа.

Чтобы сократить срок окупаемости линии, повысить качество связи и его надежность исследуется морское дно, анализируются воздействия, которые могут способствовать повреждению кабеля, рассматривается и природный фактор, и человеческий фактор, проводится изучение информационных потоков, которые будут проходить по проложенной линии связи. Весь этот анализ представляет собой начальный этап работы по прокладке подводной оптоволоконной линии связи.

Проведенный анализ ведет к выбору способа укладки кабеля, метода защиты от воздействий извне, разработке методики ремонта и восстановления линии прокладки кабеля, дополнительного оборудования для соединения, разветвления кабеля.

Следующим этапом будет прокладка линий на берегу, вывод кабеля с берега на море, прокладка линии кабеля в море и строительство береговых терминальных станций.

К составляющим такой линии связи относится:

- подводный оптоволоконный кабель;
- подводные оптические усилители;

- подводные разветвители;
- береговые станции энергоснабжения;
- наземное сетевое оборудование;
- системы, осуществляющие контроль работоспособности подводной линии;
- системы управления.

Все устройства, находящиеся под водой, требуют повышенной надежности, качества, требований по ресурсу. Над ними проводятся многократные тестирования на определение допустимых пределов эксплуатационных нагрузок и определение возможности противостояния внешних воздействий.

Во всем многообразии оптоволоконных линий связи выделяют несколько типовых линий, каждая из которых имеет собственные характерные черты.

Подводные оптико-волоконные линии связи можно разделить на репитерные (здесь применяются подводные оптические усилители) и безрепитерные. Линии с применением оптических усилителей разделяются на магистральные трансокеанские и прибрежные линии связи. Безрепитерные линии делятся на прибрежные и линии связи между отдельными пунктами (например, между материком и островами). Бывают также и линии связи с применением удаленной оптической накачки.

При планировании маршрута прокладки кабеля для подводной оптической линии связи принимают во внимание различные факторы. Во-первых, экономически выгодный и безопасный маршрут, во-вторых, необходимо разрешение на использование прибрежных вод, если кабель прокладывается между разными странами. Необходимым фактором является получение всех разрешений и лицензий на кабелеукладочные работы.

Далее исследуют потенциальные риски при укладке кабеля. Анализируют маршрут, исследуют геологию и морфологию дна моря, океанографию и метеорологию. Также определяется плотность грунта, проводится определение средней температуры дна моря в предполагаемом месте прокладывания кабеля в зимний и летний период.

Также особое внимание уделяется возможным отклонениям от выбранного географического маршрута при прокладке кабеля, что приводит к увеличению длины прокладываемой линии связи и может привести к укладке кабеля в такую область, где не проводились исследования. В свою очередь, эта область может представлять собой зону потенциального риска повреждения кабеля.

При укладке кабеля в глубоководных районах важно принять во внимание течения. Это связано с тем, что они могут не только серьёзно повлиять на местоположение корабля, но и оказать воздействие на положение кабеля, когда он касается морского дна. Любое течение потенциально может перенести кабель на некоторое расстояние в сторону от маршрута укладки.

Основными человеческими факторами, приводящими к повреждению кабеля, являются работы по углублению дна; повреждения, наносимые корабельными якорями; рыболовство; добыча природных ископаемых, нефти, газа; расположение других кабелей или трубопроводов.

После анализ факторов, которые могут повлиять на повреждение кабеля, вырабатывают рекомендации для маршрута прокладки и выбирают способ защиты от внешних факторов.

К основным способам защиты кабеля относится бронирование и укладка кабеля в траншею, выкапываемую на дне.

Бронирование обеспечивает высокий уровень доступности к кабелю, но более низкий уровень защиты кабеля от воздействий извне.

Закапывание кабеля в траншею обеспечивает высокий уровень защиты, но снижает уровень защиты при подвижке грунта. Глубина траншеи варьируется в пределах 0,6 – 3 м.

Если зарывание кабеля не является возможным, то применяют другие меры по защите кабеля: укрытие кабеля специальными покрытием (плитами) или засыпание кабеля камнями.

Оптоволоконные кабели для подводных линий связи обычно состоят из оптического сердечника, токоведущей жилы и внешних покровов. В трубчатом сердечнике

располагаются оптические волокна (4 – 12 штук), соответствующие рекомендациям G.665 МСЭ-Т и категории В4 МЭК 60793-2-50. Внешние покровы предназначены для защиты кабеля от воздействий внешнего характера, а токоведущая жила предназначена для обеспечения питания постоянным током подводных усилителей.

Так как оптический кабель для подводной линии связи эксплуатируется в водной среде, то для него наиболее актуальна защита от влаги.

Проблема защиты от влаги подразделяется на два независимых явления, связанных с наличием водорода, и приводящих к отказам системы.

Первое явление – механическая зависимость прочности оптоволокна от количества влаги на его поверхности. От присутствия влаги на поверхности волокна спасает полное заполнение гидрофобным компаундом.

Второе явление – это возрастание оптического затухания волокна из-за поглощения атомами водорода.

Применяемая защита от воздействия высокоактивного атомарного водорода возможна лишь с помощью оболочки выполненной из металлизированной фольги или алюмополиэтиленовой ленты, т.е. кристаллической решетки металла. В глубоководных кабелях применяют специальную алюминиевую или медную трубку. Лучшим способом избежать повреждений, вызываемых водой и повышенной влажностью, является заполнение пространства между волокнами и оболочкой водонепроницаемым наполнителем, роль которого выполняет специальный компаунд.

Состав компаунда не должен влиять на характеристики остальных элементов сердечника. Компаунд предотвращает дальнейшее распространение в кабеле воды и, тем самым, ограничивает потенциальное увеличение повреждений. Компаунд должен иметь относительно малый коэффициент линейного расширения и соответствующую консистенцию, чтобы не вытекать из кабеля при прокладке.

Как правило, все вышеописанные методы защиты оптической линии связи призваны обеспечить неизменность его оптических характеристик в течение эксплуатации кабеля. Но и сами эти методы должны удовлетворять определенным характеристикам и требованиям, чтобы защита оптических свойств кабеля имела максимально высокий уровень и надежность.

Кабель для подводной волоконно-оптической линии связи должен удовлетворять требованиям к оптическим характеристикам, требованиям по стойкости к механическим воздействиям, требованиям по стойкости к климатическим и другим внешним воздействиям, требованиям к электрическим параметрам, требованиям по надёжности.

Оптические характеристики кабеля такие как: коэффициент затухания, коэффициент хроматической дисперсии, поляризационная модовая дисперсия, длина волны отсечки, кабельная длина волны отсечки должны слабо меняться на протяжении всего срока службы.

Кабель должен выдерживать длительные статические и кратковременные динамические растягивающие усилия; быть устойчивым к многократным сгибам и скручиваниям, быть устойчивым по отношению к избыточному гидростатическому давлению, а также обладать продольной водонепроницаемостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Денисов С.Л.* Подводные оптоволоконные линии связи. Литературный обзор / С.Л. Денисов – М.: НТО «ИРЭ-Полюс», 2002.

2. *Грутов, В.А.* Оптоэлектроника и волоконная оптика. Учебное пособие – Петразаводск: ПетрГУ, 2005 – 100с

3. ITU-T G.971. Основные особенности волоконно-оптических подводных кабельных систем, 2007.

STUDY OF PROBLEMS OF LAYING OF UNDERWATER OPTICAL INFOCOMMUNICATION LINES

Yarullina D.
Dinaraa96@rambler.ru
Supervisor: Z. Idiatullov, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan*)

This paper discusses the stages of building info-communication lines, the problems that are encountered when building optical communication lines. Also considered ways to protect optical cable.

СЕКЦИЯ 5

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ПОДСЕКЦИЯ 5.1

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 616.5–006.81:520.82

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МЕЛАНОЦИТАРНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖИ

Абдрахимова Д.Р.
dilijra-kitty@mail.ru
Научный руководитель: М.М. Тюрина, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань)

В статье рассмотрена этиология возникновения меланоцитарных новообразований кожи. Проведен анализ методов и средств диагностики данных новообразований. Предложена концепция структурного построения устройства диагностики меланоцитарных новообразований кожи.

Меланоцитарные невусы – это доброкачественные новообразования кожи, относящиеся к порокам развития элементов, образующих меланин. Некоторые их данных новообразований обладают злокачественным потенциалом развития и могут трансформироваться в меланому. Современные исследования в дерматологии и онкологии установили ежегодный рост заболеваемости меланомой кожи (МК) во всем мире, что позволяет обратить особое внимание к данной проблеме. Следует заметить, что меланома кожи, составляя структурно не более 10% от всех форм рака, ответственна за 80% смертей приходящихся на группу злокачественных новообразований кожи. По Республике Татарстан число умерших от меланомы на 100000 человек приходится 184 [1].

Несмотря на то, что новообразования кожи относятся к опухолям визуальной локализации, их диагностика может быть затруднительна в связи с дифференцированием схожих кожных патологий. Одной из отличительных особенностей меланомы является способность к раннему и бурному метастазированию. Именно поэтому выявление МК на ранней стадии по прогнозу наиболее перспективно для полного излечения. При начальной меланоме опухолевый субстрат может быть радикально удален, со скринингом кожи в послеоперационном периоде, что повышает процент выживаемости до 90-95% [2].

Превращению пигментных невусов в меланому способствуют травма, ультрафиолетовое излучение или сбой в гормональной системе организма. С последними двумя факторами связывают возникновение меланомы на неизмененной коже.

В онкологии и дерматологии врачи довольно часто используют гистоморфологические (инвазивные) методики. Тем не менее в случае меланомы инвазивные методики в применение непосредственно к очагу патологического процесса могут быть очень опасны, так как они могут вызвать диссеминацию опухолевого процесса [2]. В связи с вышесказанным, на сегодняшний день популярны такие неинвазивные методы ранней диагностики МК, как дерматоскопия, ультразвуковое исследование, определение потенциального сопротивления тканей, термография, термометрия спектроскопия и др.

Поиск новых неинвазивных, относительно дешевых, и не требующих специальной переподготовки медицинского персонала методов дифференциальной диагностики пигментных новообразований кожи представляется, безусловно, актуальным.

Одним из новых методов диагностики, который активно внедряется в клиническую практику, является дерматоскопия с использованием спектрофотомерии. Спектрофотомерия позволяет с высокой достоверностью по характерным признакам проводить дифференциальную диагностику между типичным пигментным новообразованием (невусом) и другими пигментированными новообразованиями кожи без помощи специального сложно-настраиваемого оборудования и подготовки.

Данный метод концентрируется на анализе света, излучаемого тканью, то есть освещающего света, который проникает в ткань на некоторую глубину и отражается (или рассеивается или/и поглощается) в разной степени на разных глубинах из-за разных параметров ткани. Стоит отметить, что, если свет не поглощается, никакого его воздействия на ткани не происходит.

Основными показателями при использовании спектрофотометрического анализа являются показатели поглощения и излучения хромофоров кожи. Важнейшими эндогенными хромофорами являются меланин, гемоглобин, вода и коллаген [3]. К экзогенным хромофорам относятся красители для татуировок, а также частицы грязи, импрегнированные при травме.

В норме меланин содержится в эпидермисе и волосяных фолликулах. Спектр его поглощения лежит в ультрафиолетовом (до 400 нм) и видимом (400 - 760 нм) диапазонах спектра. Поглощение меланином излучения постепенно уменьшается по мере увеличения длины волны света. Ослабление поглощения наступает в ближней инфракрасной области спектра от 900 нм [3].

Коллаген составляет основу дермы. Спектр поглощения коллагена находится в видимом диапазоне от 400 нм до 760 нм и ближней инфракрасной области спектра от 760 до 2500нм.

При этом известно, что уровень коллагена, как показателя состояния внеклеточного матрикса, при меланоцитарных новообразованиях широко варьируется. Вместе с тем при меланоме кожи изменения дермального коллагена имеют специфичный характер. В работе [4] предложен способ дифференциальной диагностики меланоцитарных новообразований кожи в виде схемы-алгоритма, реализованной в двух этапах.

На первом этапе количественно оценивают содержание эпидермального и дермального меланина в новообразовании, после чего полученное число фиксируют и далее проводят оценку содержания количества дермального коллагена в новообразовании. При значениях показателя коллагена от 30 до 45, и при значениях показателя эпидермального и дермального меланина от 10,5 до 31,2 диагностируют пигментные немеланоцитарные новообразования кожи, включающие такие патологии кожи как: себорейный кератоз, базальноклеточный рак кожи, гемангиома, дерматофиброма. При суммарном содержании количества дермального коллагена в новообразовании более 46, и показателей эпидермального и дермального меланина от 31,3 до 48 диагностируют доброкачественные немеланоцитарные новообразования кожи. При содержании количества дермального коллагена в новообразовании менее 18, а также показатели эпидермального и дермального меланина более 48 диагностируют меланому кожи [4].

В работе представлен вариант структурного построения устройства для диагностики меланоцитарных новообразований кожи (рис.1), реализующего вышеописанный алгоритм дифференциальной диагностики. В структуру устройства входят два информационно-измерительных канала: регистрации количества меланина и коллагена.

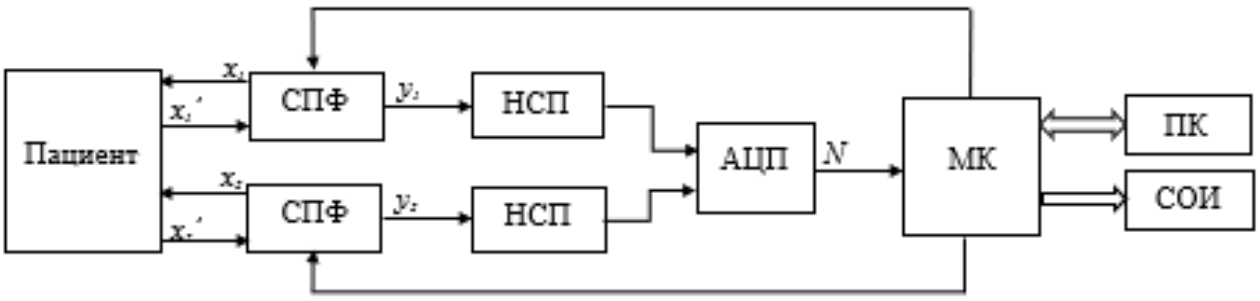


Рис. 1. Концепция структурного построения системы для ранней неинвазивной диагностики МК

Для получения информации о количестве содержания коллагена и меланина используется спектрофотометр (СПФ) со встроенным источником света. Спектрофотометр испускает длину волны определенного спектра, которая проникает в ткань на некоторую глубину и частично поглощается соответствующими выбранными хромоформами. Фотоприемник, поглощающий отраженную длину волны, поступает на встроенный преобразователь в спектрофотометре. Исходным сигналом со спектрофотометра является напряжение. Полученный сигнал сначала поступает на нормирующий-согласующий преобразователь (НСП), а после на аналогово-цифрой преобразователь (АЦП). Сигнал, полученный с АЦП,

поступает на микроконтроллер (МК), в котором происходит фильтрация и обработка сигнала по заданному алгоритму, в результате которого формируется диагноз. Полученные результаты передаются на систему отображения информации (СОИ) и/или персональный компьютер (ПК). Обратная связь от МК к спектрофотометру необходима для его настройки на спектр определенной длины (для исследования меланина (400-760нм) и коллагена (760-2500 нм)).

Таким образом, в работе предложена концепция устройства для диагностики меланоцитарных новообразований кожи, применимого для неинвазивной диагностики МК на ранних стадиях. Преимуществом разрабатываемого устройства, по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами, является меньшая стоимость и усовершенствованный метод обработки полученной информации, что позволит применять его для скрининговых исследований в поликлинических условиях дерматологических диспансеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Татарстан// Естественное движение населения муниципальных районов и городский округов Республики Татарстан. 2015. – С.23-24.

2. *Семилетова Ю.В., Анисимов В.В., Вагнер Р.И.* Лечение больных первичной меланомой кожи. Современное состояние проблемы // Сибирский онкологический журнал. 2010. – № 4 (4). – С. 71-77.

3. *Дунаев А.В., Дрёмин В.В. и др.* Анализ индивидуальной вариабельности параметров в лазерной флуоресцентной диагностике // Биотехносфера. 2013. Т. 26. № 2. – С. 39-47.

4. Пат. Россия № RU2496417// Способ дифференциальной диагностики меланоцитарных новообразований кожи/ Опубл. 20.09.2013// *Аксененко М.Б., Рукша Т.Г.*.

DEVICE FOR DIAGNOSTICS OF MELANOCYTIC NOBROSIS OF SKIN

Abdrakhimova D.

dilijra-kitty@mail.ru

Scientific adviser: M. Tyurina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

The article considers the etiology of the appearance of melanocytic skin neoplasms. The analysis of methods and means of diagnosing these tumors. The concept of structural construction of a device for diagnosing melanocytic skin neoplasms is proposed.

УДК 629.73: 621.396

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЗАГРУЖЕННОСТИ САМОЛЕТА

Агаев Э.А.

elgun84@yahoo.com

Научный руководитель: А.Р. Гасанов, д.т.н., профессор

(*Национальная Академия Авиации Азербайджана*)

В данной работе обсуждается система дистанционного определения центра тяжести воздушного судна (ВС). При этом профиль ВС снимается видеокамерой и воспроизводится на мониторе компьютера. Здесь же воспроизводится измерительная сетка, которая формируется разработанной в среде программирования Delphi специальной программой. Размеры профиля ВС и параметры измерительной сетки регулируются независимо друг от друга, что позволяет измерить перемещения с высокой точностью.

Согласно отчетам Межгосударственного Авиационного Комитета, перегрузка самолета, неправильный центр тяжести могут стать причиной серьезных аварий [1].

Для определения центровки и загруженности ВС используют в основном *графический метод, метод визуального контроля и метод непосредственного взвешивания* [2]. *Взвешивание* дает непосредственную и более точную оценку параметров. Однако применение этого метода также сопровождается со многими трудностями и требованиями по использованию. А именно, поблизости весов не должно быть высоковольтных электрических линий, трансформаторов повышенной мощности; электросварочные аппараты, двигатели и др. не должны быть подключены к одной линии с весами.

С учетом проблем практического использования рассмотренных методов, предложен *новый метод*, который позволяет дистанционно определить загруженность и центровку самолета [3]. Суть этого метода заключается в том, что путем измерения относительного вертикального перемещения фюзеляжа по мере загрузки, определяется величина фактической загруженности и центровки. Исходными данными для измерения относительного перемещения являются габаритные размеры конкретного типа ВС. В процессе измерения абсолютные значения Y_1, Y_2 измеряемых вертикальных перемещений передней и задней частей фюзеляжа сравниваются с соответствующими пустому ВС нормативными значениями $Y_{1н}$, $Y_{2н}$ [4].

Непосредственное измерение вертикальных перемещений сопряжено с большими трудностями в контексте требований к обеспечению высокой точности. Эту проблему можно избежать при дистанционных измерениях.

Структура системы дистанционного контроля загруженности самолета соответствует рис.1.

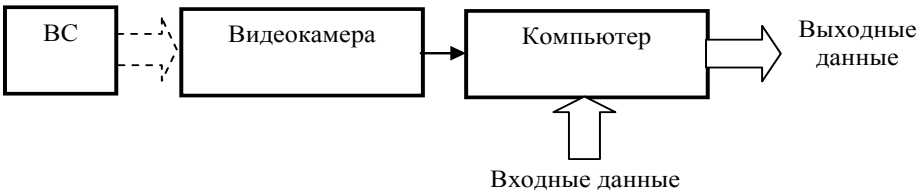


Рис. 1. Структура системы дистанционного контроля загруженности самолета

Здесь сформированное видеокамерой профиль ВС воспроизводиться на мониторе компьютера. Масштаб изображения ВС может выбираться разное. На монитор, также выводится сетка, которая состоит из взаимно перпендикулярных прямых линий. Для формирования указанной сетки с регулируемыми параметрами в среде программирования Delphi разработано специальное программное обеспечение. Расстояние между линиями сетки можно уменьшить до одного пикселя. Масштаб изображения ВС и расстояние между линиями выбираются независимо, и по раздельным каналам. Сетка линий «прикрепляется» к характерными точками конкретного ВС.

При измерениях вертикальных перемещений передней и задней частей фюзеляжа в качестве точки опоры используется точка касания колеса с землей.

Вышеизложенная методика была использована для измерения степени загруженности ВС типа А330-200.

Профили пустого и загруженного ВС изображены на рис.2 и рис.3 соответственно [5]. Здесь же приведена сформированная измерительная сетка.



Рис 2. Пустой самолет



Рис 3. Загруженный самолет

Исходные данные для измерения взяты из [6].

Вертикальные перемещения фюзеляжа ВС были измерены на уровне заднего и переднего шасси. Они составляют 15см и 21см соответственно. Пересчет вертикальных перемещений фюзеляжа ВС на загруженность показал, что загруженность ВС на уровне заднего шасси составляет 30000кг, а на уровне переднего шасси 4074кг. По этим данным был вычислен центр тяжести загруженного ВС, который находится на удалении 19,52м от переднего шасси.

Заключение

Предложенная система дистанционного измерения загруженности самолета легко адаптируется к конкретному типу ВС. При этом, измерения осуществляются дистанционно и не мешают процессу подготовки ВС к полету. Обладающий определенным опытом оператор может быстро подготовить систему к работе. Пригодная к автономной работе система может обеспечить высокие результаты в комплексе с одним из вышеперечисленных методов определения центровки и загруженности ВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. http://www.mak-iac.org/rassledovaniya/bezopasnost-poletov/

2. Гасанов А.Р., Искендеров И.А., Агаев Э.А. Влияние степени загруженности и центровки воздушных судов на авиапроисшествия и методы их определения.// Материалы XI Меж. НТК «АВИА-2009». Киев 2009, Т.2., с.15.29-15.32.

3. Пашаев А.М., Гасанов А.Р., Набиев Р.Н., Искендеров И.А. Структурная модель системы бесконтактного определения веса и центра тяжести воздушных судов // Известия ЮФУ, 2018, №3, с.156÷167.

4. Pashayev A.M., Hasanov A.R., Agayev E.A., Karimov S.M. Imaging Method Application Peculiarities in Contactless Determination of Aircraft Loading Limitation. // Asian Journal of Computer and Information Systems (ISSN: 2321 – 5658) Vol 2, №1, 2014, p.9-13.

5. https://www.youtube.com/watch?v=pzY5zhiV1mw

6. https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/techdata/aircraft characteristics/Airbus-Commercial-Aircraft-AC-A340-200-300.pdf

SYSTEM OF REMOTE CONTROL OF PLANE WEIGHT

Agayev E.
elgun84@yahoo.com
Supervisor: A. Hasanov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(*Azerbaijan National Aviation Academy*)

This paper discusses the system for remotely determining the center of gravity of an aircraft. In this case, the profile of the aircraft is captured by a video camera and reproduced on a computer monitor. It also reproduces the measuring grid, which is formed by a special program developed in the Delphi programming environment. The dimensions of the aircraft profile and the parameters of the measuring grid are regulated independently, which allows you to measure movements with high accuracy.

УДК 629.7.054.44

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИОННО-МЕТОЧНОГО КАНАЛА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕКТОРА ВЕТРА НА БОРТУ ОДНОВИНТОВОГО ВЕРТОЛЕТА НА ОСНОВЕ ИОННО-МЕТОЧНЫХ И АЭРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ[*]

Арискин Е.О., Миллер К.Э., Хакимуллин С.И.
nikitin.rf@mail.ru
Научный руководитель: А.В. Никитин, к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассматриваются особенности измерения скорости и угла направления вектора ветра и других воздушных параметров вертолета в условиях аэродинамических возмущений вихревой колонны несущего винта. Раскрываются конструктивные особенности ионно-меточного канала неподвижного комбинированного многофункционального приемника.

В различных отраслях промышленности, в энергетике и строительстве широкое применение находят вертолеты различных классов. Эксплуатация вертолетов происходит в приземном возмущенным слое атмосферы в условиях значительных ветровых возмущений, поэтому при пилотировании и решении задачи обеспечения безопасности полета вертолета необходима достоверная информация о величине и угле направления вектора скорости ветра относительно продольной оси вертолета, величине и составляющих вектора истинной воздушной скорости, аэродинамических углах атаки и скольжения, барометрической высоте и приборной скорости, атмосферном давлении и плотности, определяющих аэродинамику и динамику движения вертолета относительно окружающей воздушной среды на всех этапах и режимах полета [1].

На стоянке, при рулении и маневрирование по земной поверхности (стартовые режимы), при взлете и наборе высоты, снижении, висении и посадке (взлетно-посадочные режимы), при полете с малыми скоростями на работу бортовых средств измерения параметров вектора ветра оказывают существенное влияние индуктивные потоки вихревой колонны несущего винта, ограничивающие использование традиционных средств [2], что обусловливает

[*] Работа выполнена по гранту № 03-52-ч Г 2019

необходимость разработки систем измерения параметров вектора ветра, максимально учитывающих аэродинамику и динамику полета вертолета.

Возможности по преодолению ограничений, связанных с влиянием индуктивных потоков несущего винта, открываются при использовании для целей измерения параметров вектора ветра информации аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта [3], воспринимаемой неподвижным многофункциональным аэрометрическим приемником, выходные сигналы которого регистрируются аэрометрическими измерительными каналами. Обработка выходных сигналов в соответствии с разработанными алгоритмами позволяет определить воздушные параметры полета вертолета и состояние окружающей среды в широком диапазоне рабочих скоростей и высот полета [4].

В работах [5, 6] раскрываются принципы построения и алгоритмы работы бортовой системы контроля воздушных параметров полета и окружающей среды на стоянке, стартовых и взлетно-посадочных режимах, при полете вертолета на малых скоростях, в которой для целей измерения используется информация о параметрах вектора скорости результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта, воспринимаемая неподвижным многофункциональным аэрометрическим приемником [4].

Однако построение неподвижного многоканального аэрометрического приемника на основе многоканального проточного аэрометрического приемника связано с необходимостью защиты большого числа трубок полного давления, установленных в его проточном канале, от обледенения, попадания пыли и влаги в реальных условиях эксплуатации вертолета. Многоканальная схема преобразования воспринимаемых давлений обуславливает жесткие требования к идентичности и стабильности характеристик аэрометрических измерительных каналов. Все это усложняет конструкцию, снижает надежность, повышает стоимость, сдерживает применение системы измерения параметров вектора ветра на вертолетах различного класса и назначения.

Для устранения недостатков системы измерения параметров вектора ветра на основе неподвижного многофункционального приемника и аэрометрических измерительных каналов предлагается система измерения параметров вектора ветра, выполненная по двухканальной схеме и включающая ионно-меточный и аэрометрический измерительные каналы.

В качестве ионно-меточного канала используется панорамный ионно-меточный датчик аэродинамического угла и воздушной скорости [8], включающий плату *1* с системой приемных электродов, в центре *0* которой установлен искровой разрядник, подключенный к генератору меток (ГМ). При подаче на высоковольтный разрядник высоковольтного импульса от генератора меток (ГМ) формируется ионная метка с явно выраженным электростатическим зарядом, которая движется совместно с набегающим воздушным потоком, приобретая его скорость V и направление α. При приближении заряженной ионной метки к приемным электродам, расположенным на окружности радиусом R, на них наводятся электростатические заряды, величина которых зависит от расстояния R от точки генерации ионной метки до приемного электрода и углового положения ψ траектории движения метки.

На рис. 1 показана конструктивная схема датчика первичной информации системы измерения параметров вектора ветра на основе ионно-меточных и аэрометрических измерительных каналов.

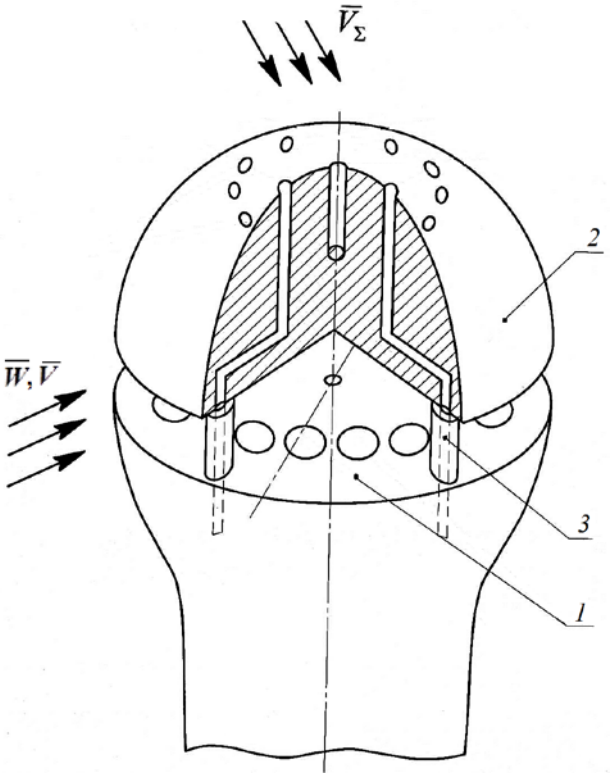


Рис. 1. Конструктивная схема датчика первичной информации

Перпендикулярно системе приемных электродов *1* панорамного ионно-меточного датчика аэродинамического угла и воздушной скорости на стойках *3* установлен неподвижный полусферический аэрометрический приемник *2*, на поверхности которого расположены отверстия для восприятия давлений, несущих информацию о векторе скорости $\boldsymbol{V}_\Sigma$ результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта. Воспринимаемые давления по пневмоканалам через стойки *3* передаются ко входам пневмоэлектрических преобразователей, расположенных внутри панорамного ионно-меточного датчика аэродинамического угла и воздушной скорости.

Униполярная ионная метка создается в набегающем воздушном потоке в процессе искрового разряда при подаче разрядник высоковольтного импульса от генератора меток. При движении заряженной метки на регистрирующем электроде индуцируется импульсный сигнал (рис. 2). Для канала измерения скорости набегающего воздушного потока информативным параметром сигнала является временной интервал τ, за который ионная метка пролетает базовое расстояние R (рис. 2а). Для канала измерения угла направления вектора ветра информативным параметром сигнала, индуцированного на электроде, является амплитуда $U_{\text{вых}}$ (рис. 2б). При этом точка перехода сигнала $U_{\text{вых}}$ нулевого уровня определяет время τ движения ионной метки до центра электрода.

Амплитуда U_a сигнала $U_{\text{вых}}$ на выходе предварительного усилителя пропорциональна току, индуцированному меткой на электроде, и определяется зависимостью

$$U_a = q_{\text{м}}(t) V k_{\text{пу}} S F(\alpha), \quad (1)$$

где $q_{\text{м}}(t)$ – величина заряда ионной метки во время ее регистрации (функция $q_{\text{м}}(t)$ отражает процесс рекомбинации ионов и изменение (уменьшение) заряда метки во времени); V - скорость движения метки; $k_{\text{пу}}$ – коэффициент преобразования «ток-напряжение» предварительного усилителя; S - площадь регистрирующего электрода; $F(\alpha)$ – угловая характеристика приемного электрода, характеризующая зависимость амплитуды наведенного на нем тока от угла отклонения траектории метки относительно центра электрода.

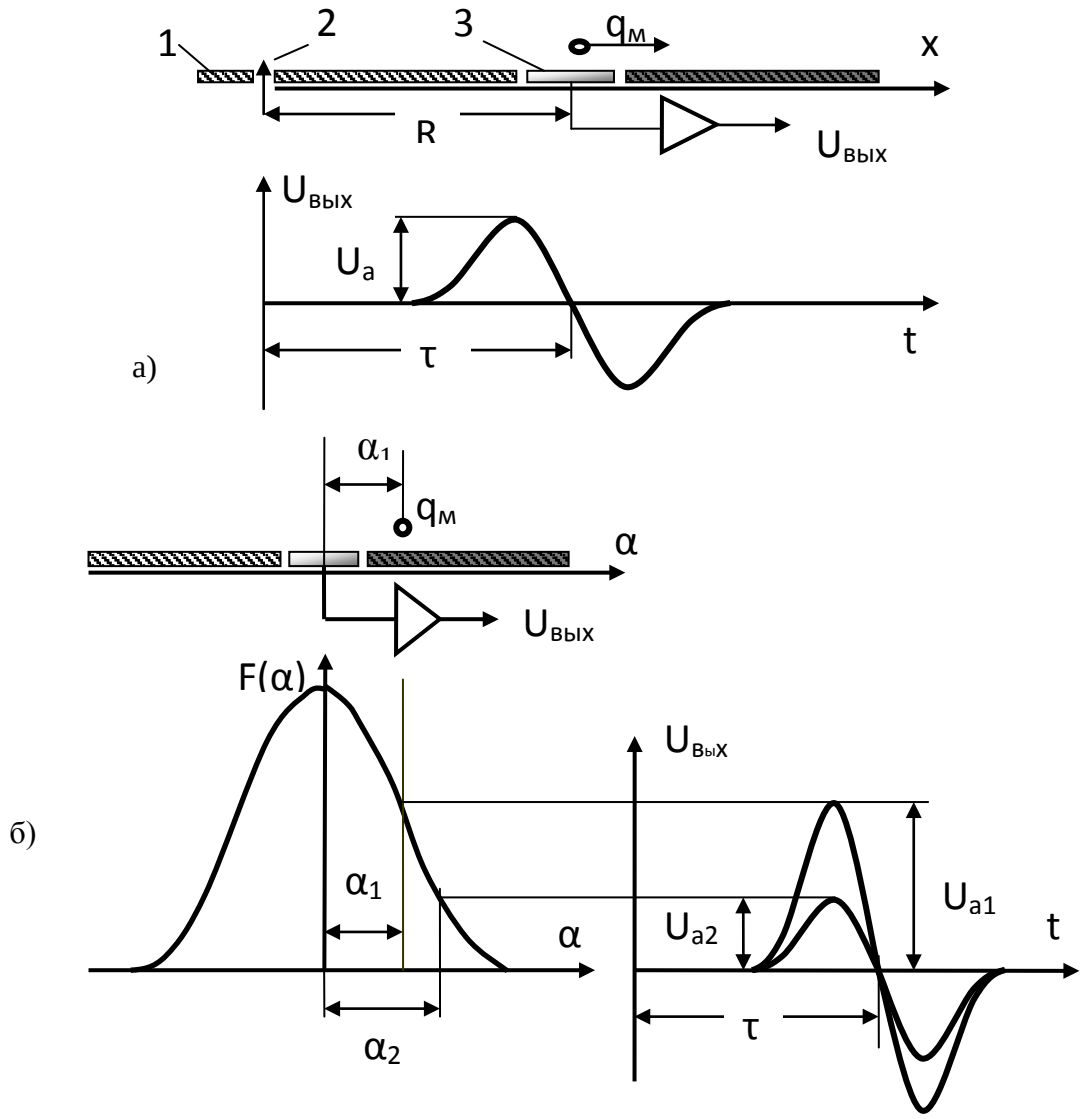


Рис. 2. Информативные параметры сигналов, индуцированных на приемных электродах

Требования, накладываемые на габариты платы с приемными электродами датчика определяют соответствующие ограничения на размеры электродов и их площадь *S*. Кроме того, размеры и форма электрода определяют его угловую характеристику *F*(α), а размещение всех электродов на приемной плате обеспечивает формирование необходимой угловой характеристики канала измерения аэродинамического угла в целом.

На рис. 3 приведены экспериментально полученные угловые характеристики регистрирующих электродов различного диаметра. По результатам обработки экспериментальных угловых характеристик установлено, что с приемлемой точностью угловую характеристику *F*(α) электрода можно аппроксимировать экспоненциальной функцией вида

$$F(\alpha) = \exp(k\alpha^2), \qquad (2)$$

где k - коэффициент, величина которого зависит от диаметра электрода и определяет ширину угловой характеристики, α – текущее значение угла отклонения траектории метки от центра электрода.

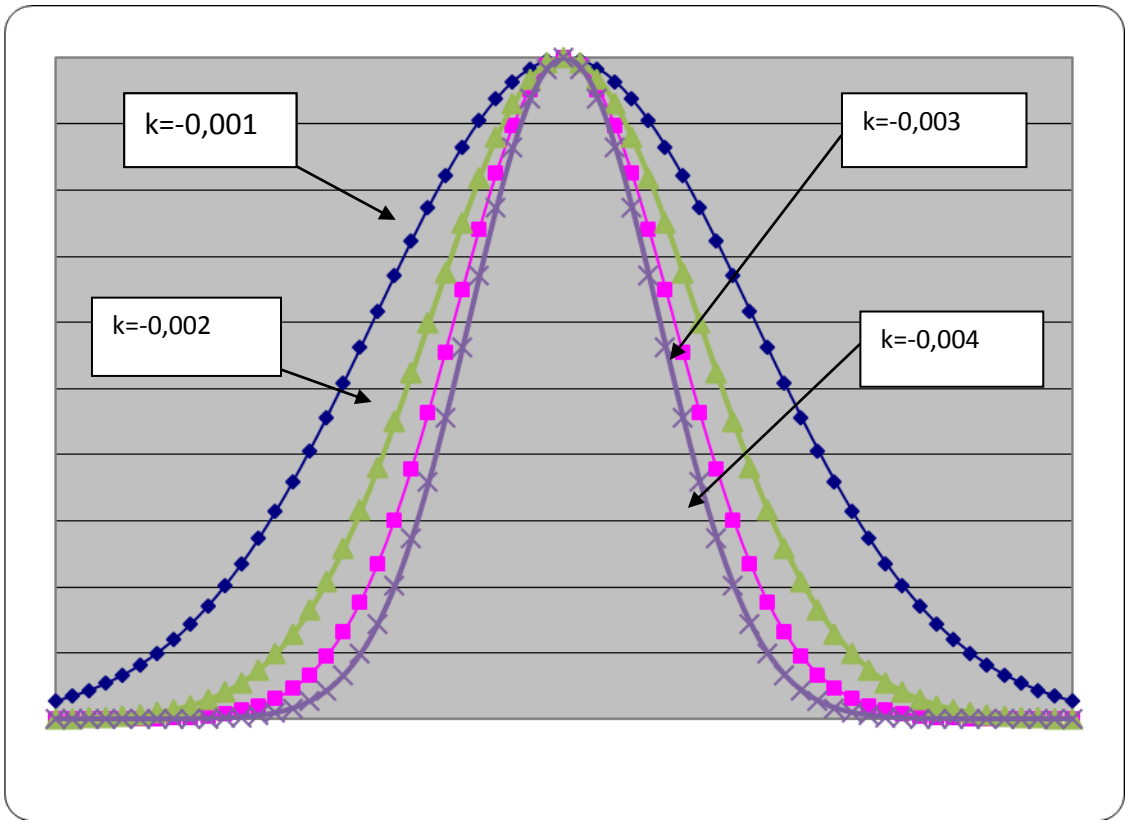


Рис. 3. Экспериментальные и аппроксимированные угловые характеристики регистрирующего электрода с различными коэффициентами

Поскольку угловой шаг размещения электродов в ионно-меточном датчике равен Δα, то угловая характеристика *n*-го электрода может быть аппроксимирована функцией вида

$$F(\alpha) = \exp[\, k(\alpha + n\Delta\alpha)^2]. \quad (3)$$

Анализ различных вариантов размещения регистрирующих электродов при реализации рассматриваемой схемы датчика и алгоритма преобразования показывает, что наиболее приемлемый результат обеспечивает электродная система, состоящая из 8 электродов с диаметром 12 мм и с шагом размещения 45 угловых градусов. При этом аппроксимирующая функция такого электрода в соответствии с результатами экспериментов имеет вид

$$F(\alpha) = \exp(-0{,}001\ \alpha^2). \quad (4)$$

С учетом указанного шага размещения n-ый электрод соответственно аппроксимируется функцией

$$F(\alpha) = \exp[-\,0.001(\alpha + n\ 45)^2]. \quad (5)$$

На графике рис. 4 представлена исходная совокупность угловых характеристик приемных электродов, которые используются для формирования информативных сигналов ионно-меточного датчика аэродинамического угла и воздушной скорости.

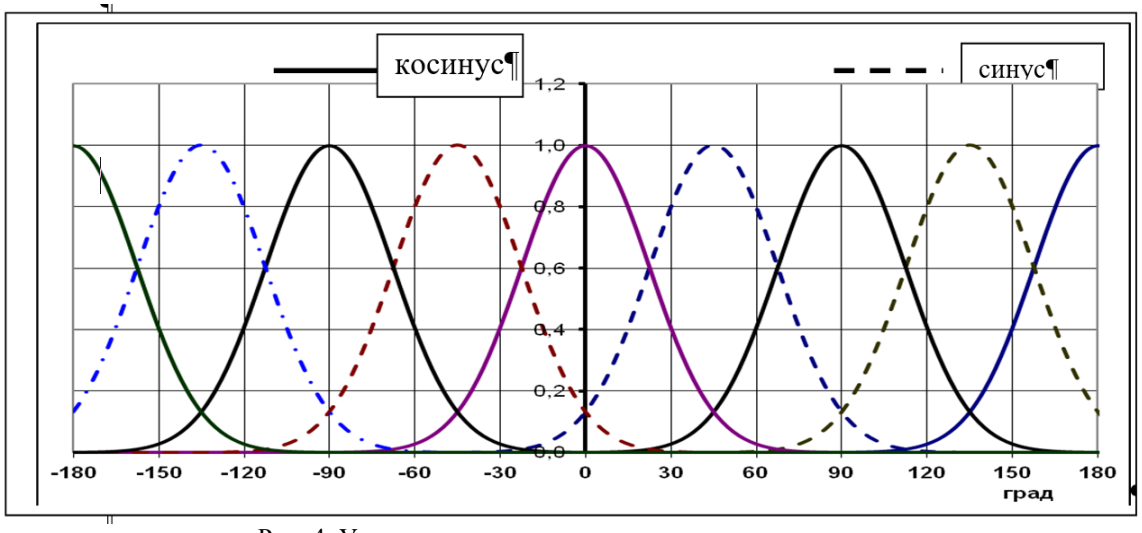


Рис. 4. Угловые характеристики приемных электродов

Синусоидальная угловая характеристика формируется путем дифференциального включения выходов предварительных усилителей, связанных с соответствующими приемными электродами. Для формирования синусоидальной характеристики используются восемь электродов, шаг размещения между которыми составляет 45 угловых градусов. Причем соседние электроды подключаются к разным входам дифференциальной схемы. Тогда, период синусоидальной угловой характеристики электрода составляет 180 угловых градусов. Аналогично формируется косинусоидальная угловая характеристика. При этом сдвиг между синусоидальными и косинусоидальными характеристиками равен 45 угловым градусам.

Аппроксимирующие функции синусоидальных и косинусоидальных угловых характеристик имеют вид:

$F_{\sin}(\alpha) = \exp[-0.001(\alpha+45)^2]-\exp[-0.001(\alpha+135)^2]+\exp[-0.001(\alpha-135)^2]-\exp[-0.001(\alpha-45)^2]$.

$F_{\cos}(\alpha) = \exp[-0.001(\alpha)^2]-\exp[-0.001(\alpha+90)^2]+\exp[-0.001(\alpha-90)^2]-\exp[-0.004(\alpha-180)^2]$.

Исходя из предположения, что полученные угловые характеристики канала измерения аэродинамического угла достаточно точно описываются функциями sin α и cos α, измеряемый угол α можно определить из соотношения

$$\alpha = \operatorname{arctg}(\sin\alpha / \cos\alpha). \qquad (6)$$

Применение рассмотренной системы измерения параметров вектора ветра на борту одновинтового вертолета на основе ионно-меточных и аэрометрических измерительных каналов на различных классах вертолетов позволяет повысить безопасность эксплуатации и эффективность решения полетных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Руководство по летной эксплуатации вертолета Ми-8 (издание 4). – М.: Авторитет, 1996. – 554 с.

2. *Козицин В.К., Макаров Н.Н., Порунов А.А., Солдаткин В.М.* Анализ принципов построения систем измерения воздушных сигналов вертолета // Авиакосмическое приборостроение. 2003. №10. С. 2–13.

3. *Солдаткин В.В.* Аэрометрическая система измерения малых воздушных скоростей вертолета на основе информации о положении вихревой колонны несущего винта // Известия вузов. Авиационная техника. 2009. №4. С. 52-56.

4. *Солдаткин В.В.* Система воздушных сигналов вертолета на основе неподвижного аэрометрического приемника и информации аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта: Монография. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. 284с.

5. *Никитин А.В., Солдаткин В.В., Солдаткин В.М.* Система измерения параметров вектора ветра на стартовых и взлетно-посадочных режимах вертолета // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 6. С. 64-70.

6. *Никитин А.В., Солдаткин В.М.* Система измерения параметров вектора ветра и истинной воздушной скорости на борту вертолета // Датчики и системы. 2015. №4. С. 48 – 54.

7. *Ганеев Ф.А., Солдаткин В.М.* Ионно-меточный датчик аэродинамического угла и воздушной скорости с логометрическими информативными сигналами и интерполяционной схемой обработки // Известия вузов. Авиационная техника. 2010. №3. С.46-50.

DESIGN FEATURES OF ION-MARK CHANNEL OF MEASURING SYSTEM OF WIND VECTOR ON BOARD THE SINGLE-ROTOR HELICOPTER BASED THE ION-MARK AND AEROMETRIC MEASUREMENT CHANNELS

Ariskin E., Miller K., Khakimullin S.

nikitin.rf@mail.ru

Supervisor: A. Nikitin, Candidate of Technical Sciences

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

Features of measurement of velocity and direction angle of wind vector and other air parameters of the helicopter in the conditions of aerodynamic perturbations of a vortex column of the rotor are considered. The design features of the ion-mark channel of the fixed combined multifunctional receiver are revealed.

УДК 629.7.054.44

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕКТОРА ВЕТРА НА БОРТУ ОДНОВИНТОВОГО ВЕРТОЛЕТА НА ОСНОВЕ ИОННО-МЕТОЧНЫХ И АЭРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ*

Арискин Е.О., Миллер К.Э., Хакимуллин С.И.

nikitin.rf@mail.ru

Научный руководитель: А.В. Никитин, к.т.н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассматривается проблема измерения параметров вектора ветра и воздушных параметров на борту вертолета в условиях аэродинамических возмущений вихревой колонны несущего винта. Раскрывается функциональная схема и конструктивные особенности датчика первичной информации на стоянке, стартовых, взлетно-посадочных и других режимах вертолета системы с неподвижным приемником, ионно-меточными и аэрометрическими измерительными каналами.

В современном мире интенсивность применения вертолетов различных классов и назначения постоянно увеличивается, эксплуатация которых происходит в приземном возмущенном слое атмосферы в условиях значительных ветровых возмущений, в частности, вызванных турбулентностью. Для решения задачи обеспечения безопасности полета вертолета необходима информация о скорости и угле направления вектора ветра относительно продольной оси вертолета, величине и составляющих вектора истинной воздушной скорости, аэродинамических углах атаки и скольжения, приборной скорости, определяющих аэродинамику и динамику движения вертолета относительно окружающей воздушной среды на всех этапах и режимах полета [1].

На стоянке, при рулении и маневрировании по земной поверхности (стартовые режимы), при взлете и наборе высоты, снижении, висении и посадке (взлетно-посадочные режимы), при полете с малыми скоростями на работу бортовых средств измерения воздушных

* Работа выполнена по гранту № 03-52-ч Г 2019

параметров вертолета и состояния атмосферы оказывают существенное влияние индуктивные потоки вихревой колонны несущего винта, ограничивающие использование традиционных средств измерения [2, 3]. В связи с этим возникает необходимость разработки систем измерения воздушных параметров, максимально учитывающих аэродинамику и динамику полета вертолета.

Построение системы измерения параметров вектора ветра на борту одновинтового вертолета на основе неподвижного многофункционального аэрометрического приемника с многоканальной схемой преобразования воспринимаемых давлений [4, 5] обусловливает жесткие требования к идентичности и стабильности характеристик аэрометрических измерительных каналов, необходимость защиты большого числа трубок полного давления, установленных в проточном канале приемника, от обледенения, попадания пыли и влаги в реальных условиях эксплуатации на борту вертолета. Все это усложняет конструкцию, снижает надежность, повышает стоимость, сдерживает применение данной системы измерения воздушных параметров и состояния атмосферы на вертолетах различного класса и назначения.

Для устранения указанных недостатков системы измерения параметров вектора ветра на борту одновинтового вертолета на основе неподвижного многофункционального аэрометрического приемника и аэрометрических измерительных каналов предлагается система, функциональная схема которой приведена на рис. 1 [6].

В этом случае система измерения воздушных параметров выполняется по двухканальной схеме и включает ионно-меточный и аэрометрический измерительные каналы.

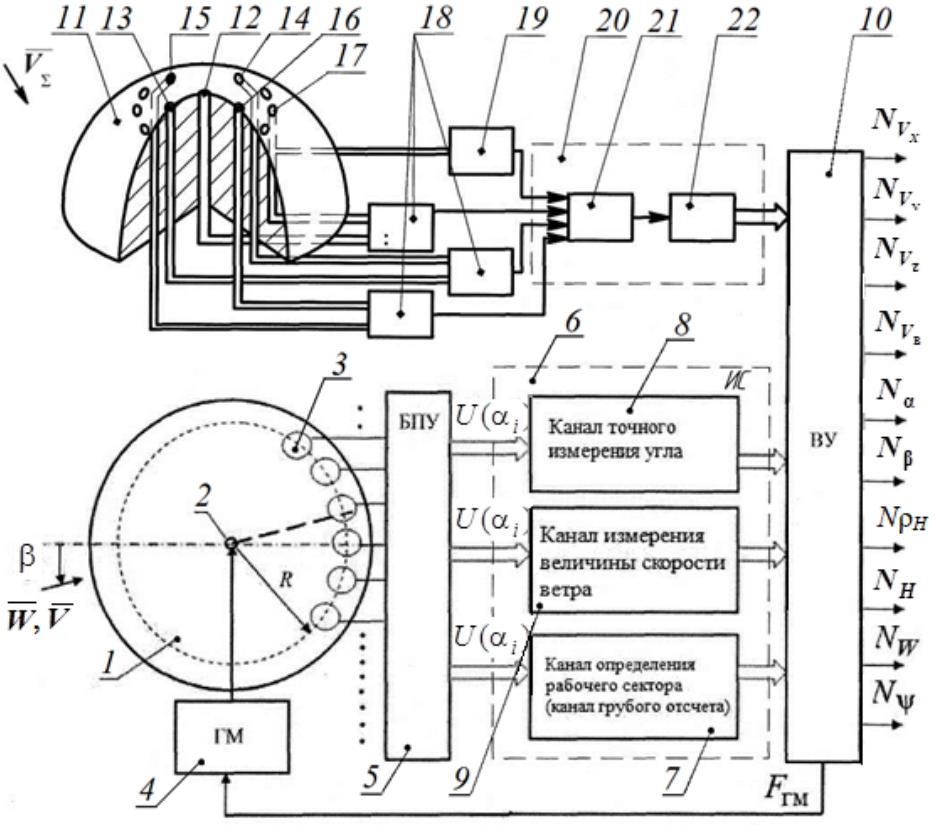


Рис. 1. функциональная схема системы измерения параметров вектора ветра на борту одновинтового вертолета на основе ионно-меточных и аэрометрических измерительных каналов

В качестве ионно-меточного канала используется панорамный ионно-меточный датчик аэродинамического угла и воздушной скорости [7], включающий плату *1* с системой приемных электродов *3*, в центре которой установлен искровой разрядник *2*, подключенный к генератору меток (ГМ) *4*. При подаче на искровой разрядник высоковольтного импульса от ГМ формируется ионная метка с явно выраженным электростатическим зарядом, которая

движется совместно с набегающим воздушным потоком, приобретая его скорость V и направление α. При приближении заряженной ионной метки к приемным электродам *3*, расположенным на окружности радиусом R, на них наводятся электростатические заряды, величина которых зависит от расстояния R от точки генерации ионной метки до приемного электрода и углового положения ψ траектории движения метки. Заряды, наведенные на приемных электродах, регистрируются в блоке предварительных усилителей БПУ *5*, выходы которых поступают на входы измерительной схемы *6*. Измерительная схема включает канал *7* определения рабочего сектора, в котором находится траектория движения метки (канал грубого отсчета), канал *8* точного измерения угла в пределах рабочего сектора и канал *9* измерения величины скорости ветра. Выходы измерительной схемы подключены ко входам вычислительного устройства ВУ *10*.

На рис. 2 показана конструктивная схема датчика первичной информации системы измерения воздушных параметров вертолета на основе ионно-меточных и аэрометрических измерительных каналов.

Перпендикулярно системе приемных электродов *1* панорамного ионно-меточного датчика аэродинамического угла и воздушной скорости на стойках *3* установлен неподвижный полусферический аэрометрический приемник *2*, на поверхности которого расположены отверстия для восприятия давлений, содержащих информацию о параметрах

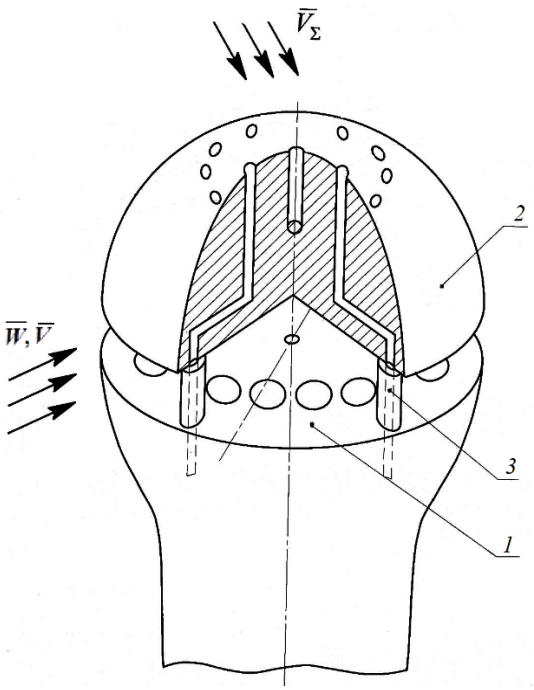


Рис. 2. Конструктивная схема датчика первичной информации системы измерения параметров вектора ветра на борту одновинтового вертолета на основе ионно-меточных и аэрометрических измерительных каналов

вектора скорости $\overline{V}_\Sigma$ результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта. Воспринимаемые давления по пневмоканалам через стойки передаются ко входам пневмоэлектрических преобразователей, расположенных внутри панорамного ионно-меточного датчика аэродинамического угла и воздушной скорости.

Для восприятия информации результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта на поверхности полусферического аэрометрического приемника *11* (см. рис. 1) расположены отверстия *12* для забора полного давления $P_{п\Sigma}$ результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта, отверстия *13, 14* и *15, 16* для забора давлений P_1, P_2 и P_3, P_4, определяющих углы φ_1 и φ_2 положения вектора скорости $\overline{V}_\Sigma$ относительно оси симметрии полусферического приемника в плоскости, параллельной продольной оси вертолета, и в плоскости, перпендикулярной продольной оси вертолета, а

также отверстия *17* для забора статического давления $P_{ст\Sigma}$ результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта.

Для защиты отверстий для забора давлений результирующего воздушного потока от обледенения в зоне их расположения установлены теплоэлектрические нагреватели, отключаемые от источника бортового питания при положительных температурах с помощью биметаллических термореле, широко используемых в системе обогрева флюгерных датчиков аэродинамических углов.

Воспринимаемые давления $P_{п\Sigma}$, P_1, P_2 и P_3, P_4, $P_{ст\Sigma}$ с помощью пневмоэлектрических преобразователей перепада давлений *18* и преобразователя абсолютного давления *19* преобразуются в электрические сигналы, которые через канал *20* аналого-цифрового преобразования, включающего мультиплексор *21* и аналого-цифровой преобразователь *22*, подаются в вычислительное устройство *10*. На выходе вычислительного устройства по разработанным алгоритмам формируются цифровые сигналы по воздушным параметрам движения вертолета и состояния атмосферы.

Таким образом, предложенные подходы к построению системы измерения параметров вектора ветра на борту одновинтового вертолета на основе ионно-меточных и аэрометрических измерительных каналов позволяют определить параметры вектора ветра и высотно-скоростные параметры вертолета в широком диапазоне эксплуатации, в том числе на стоянке, стартовых и взлетно-посадочных режимах, при полете в диапазоне малых и полетных скоростях.

Применение рассмотренной системы измерения параметров вектора ветра на борту одновинтового вертолета на основе ионно-меточных и аэрометрических измерительных каналов на различных классах вертолетов позволяет повысить безопасность эксплуатации и эффективность решения полетных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по летной эксплуатации вертолета Ми-8. М.: Авторитет, 1996. 554 с.

2. *Козицин В.К.* Анализ принципов построения систем измерения воздушных сигналов вертолета // Авиакосмическое приборостроение. 2003. № 10. С. 2–13.

3. *Солдаткин В.М.* Методы и средства измерения аэродинамических углов летательных аппаратов. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2001. 448 с.

4. *Солдаткин В.В.* Аэрометрическая система измерения малых воздушных скоростей вертолета на основе информации о положении вихревой колонны // Изв. вузов. Авиационная техника. 2009. № 4. С. 52–56.

5. *Солдаткин В.В.* Система воздушных сигналов вертолета на основе неподвижного аэрометрического приемника и информации аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. 284 с.

6. *Арискин Е.О.* и др. Бортовая система измерения параметров вектора ветра на стоянке, стартовых и взлетно-посадочных режимах вертолета с аэрометрическими и ионно-меточными измерительными каналами // Изв. вузов. Авиационная техника. 2015. №4. С. 87–93.

7. *Ганеев Ф.А., Солдаткин В.М.* Ионно-меточный датчик аэродинамического угла и воздушной скорости с логометрическими информативными сигналами и интерполяционной схемой обработки // Изв. вузов. Авиационная техника. 2010. № 3. С. 46–50.

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF THE SYSTEM OF MEASUREMENT OF PARAMETERS OF THE WIND VECTOR ON BOARD THE SINGLE-ROTOR HELICOPTER BASED ON THE ION-MARK AND AEROMETRIC MEASUREMENT CHANNELS

Ariskin E., Miller K., Khakimullin S.
nikitin.rf@mail.ru
Supervisor: A. Nikitin, Candidate of Technical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The problem of measuring the wind vector parameters and air parameters on board the helicopter in the conditions of aerodynamic disturbances of the vortex column from main rotor is considered. The functional scheme and design features of primary information sensor at the parking, starting, takeoff and landing and other modes of helicopter of system with a stationary receiver, ion-mark and aerometric measuring channels are revealed.

УДК 621.43

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СВЯЗЬ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА КЛАССА МИКРО

Бражников А.М., Бражникова А.М.
ArtemBragnicov@yandex.ru
Научный руководитель: Е.В. Мельников, к.т.н., доцент
(Самарский государственный технический университет, Самара)

Связь с подводными аппаратами, когда они находятся в погруженном состоянии, достаточно сложная задача. В связи с этим, становится актуальным создание гидроакустического канала связи. В данной статье приведена структурная схема гидроакустического канала связи, а так же рассмотрен алгоритм функционирования представленных режимов работы аппарата.

Сегодня автономные подводные аппараты широко применяются для решения различных задач океанографии и поисково-спасательных работ. Однако, исследовательские аппараты чаще всего применяются для наблюдения за океанами и морями. Это обуславливает большие размеры этих аппаратов, что делает невозможным их применение в условиях малых водоёмов (небольших озёр, рек, водохранилищ, рыбных ферм). Однако, малые водоёмы также являются природными ресурсами, которые человечество использует для своих нужд, кроме того, они входят в состав (зачастую составляют основу) экосистем, влияют на изменение погоды и климат в отдельных районах.

В связи с этим становится актуальной задача разработки автономного подводного аппарата небольших размеров, способный нести на себе комплекс датчиков, осуществляющих измерение параметров среды водоёма. Информация в таком случае должна в режиме реального времени передаваться оператору (или на базовую станцию) для её накопления, первичной обработки и последующего анализа.

Наиболее надёжный способ передачи данных, используемый сегодня повсеместно - радиосвязь (на различных частота). Однако, в данном случае её использование затруднено тем, что аппарат погружается на значительные глубины (до 100 метров), что не позволяет использовать широкодоступные диапазоны частот: 433МГц, 2.4ГГц, 5.8ГГц. Это обуславливается тем, что электромагнитные волны этих диапазонов сильно ослабляются при прохождении через слой проводящего материала. Явление это называется скин-эффект. С увеличение частоты сигнала падает и его способность проникать через воду. Использование низкочастотных (УКВ и КВ) передатчиков может в некоторой степени решить эту проблему, однако такие системы обладают относительно низким (в сравнении с более высокочастотными системами) КПД и требуют для работы большой входной мощности [1].

На мощность передатчика накладываются ограничения, так как он расположен на небольшом аппарате, где нет возможности разместить источник питания большой мощности. Кроме того, требования к автономности заставляют разработчика контролировать расход энергии батарей, а постоянно работающий передатчик очень быстро может исчерпать её и без того малый запас, сделав аппарат не пригодным для длительных (до нескольких часов) миссий.

В тоже время, водная среда благоприятна для распространения различных акустических колебаний. Что позволяет строить системы, обеспечивающие непрерывную связь с подводным аппаратом.

Требования

Поскольку основной поток данных будут составлять результаты измерений и информации телеметрии, пропускная способность канала может быть весьма небольшой и составлять порядка 1-2 КБ/с.

Для обеспечения сохранности передаваемых данных могут использоваться различные алгоритмы помехоустойчивого кодирования (в том числе на основе микроконтроллерных систем). Помехи в виде шумов могут возникать как естественными способами (жизнедеятельность животных, участки с сильным течением, пороги), так и техногенными (работа насосов, моторные суда, близость автомобильных магистралей).

Передатчик должен потреблять небольшую мощность (до 0,5Вт), кроме того, он должен быть способен работать от источника энергии с низким напряжением: до 8 вольт [2].

В качестве резервной системы связи может использоваться стандартные средства связи, а именно работающие на частоте 2.4ГГц. Эта система будет активироваться только при всплытии аппарата. С её помощью возможно будет передавать больший объём данных, а также осуществлять управление аппаратом в надводной положении в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Структура

Структурная схема системы связи с подводным аппаратом представлена на рисунке 1:

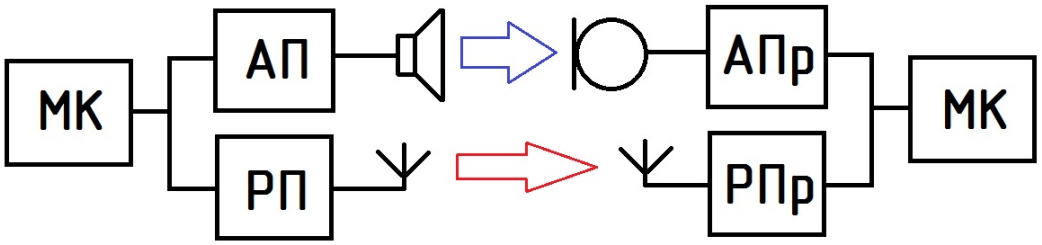


Рисунок 1. Структурная схема
МК-микроконтроллер, формирующий (декодирующий) поток данных; АП - акустический передатчик; РП - радиопередатчик; АПр - акустический приёмник; РПр - радиоприёмник.

А в качестве приёмной и передающей части акустического канала связи используются пьезоэлектрические излучатель и приёмник.

Алгоритм функционирования

В надводном положении будет обеспечиваться двусторонняя передача данных между субмариной и базовой станцией при помощи радиочастотного канала связи (2.4ГГц).

В подводном положение данные передаются в одном направлении от аппарата к станции посредством гидроакустического канала связи.

Переключение между режимами работы будет осуществляться автоматически.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Макаров А.И., Дворников В.Д., Конопелько В.К.* Передача информации в гидроакустическом канале. Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники П.Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь. Сборник «Доклады БГУИР», январь-март 2004г.;
2. Thorp W.H. Deep Sound Attenuation in the Sub and Low Kilocycle per-second Range // J. Acoust. Soc. Am., 1965. Vol. 38, P. 648–654.

DEVELOPMENT OF A SET OF SOFTWARE AND HARDWARE TOOLS THAT PROVIDE COMMUNICATION FOR AN AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE OF THE MICRO CLASS

Brazhnikov A., Brazhnikova A.
brazhnikova_98@mail.ru
Supervisor: E. Melnikov, Ph.D., Associate Professor
(Samara State Technical University, Samara)

Communication with underwater vehicles, when they are immersed, is quite a difficult task. In this connection, the creation of a hydroacoustic communication channel becomes urgent. This article provides a structural diagram of the hydroacoustic communication channel.

УДК 57.087

РАЗРАБОТКА КАНАЛА ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ

Габдрахманова А.Р.
alsu-g15@mail.ru
Научный руководитель: С.В. Смирнова, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

В данном докладе описывается метод постинсультной реабилитации – электростимуляции. Разработана структурная схема аппарата для электростимуляции пациента. Произведен анализ последовательности обработки и преобразования сигналов каждого блока схемы.

Одной из основных причин инвадилизации населения в современном мире является инсульт – нарушение мозгового кровообращения, то есть повреждение головного мозга, вызванное закупоркой или разрывом сосудов мозга. Одними из наиболее частых вторичных осложнений у больных, перенесших инсульт, являются трофические нарушения, такие как: атрофия мышц, артропатия суставов, синдром болевого плеча. Поэтому пациенты очень часто нуждаются в основательной и длительной реабилитации. Медицинскими методами реабилитации после инсульта являются: физические и механические методы реабилитации, массаж, нетрадиционные методы лечения, психотерапия, логопедическая помощь, лечебная физкультура, реконструктивная хирургия, протезно-ортопедическая помощь, санаторно-курортное лечение, технические средства реабилитации. При атрофии мышц прибегают к физическому методу реабилитации – электростимуляции. В связи с этим разработка физиотерапевтического оборудования для реабилитации пациентов, перенесших инсульт, очень актуальна.

Целью данного доклада является разработка канала воздействия методом электростимуляции.

Электростимуляция – это воздействие импульсными токами, чтобы восстановить органы и системы, особенно нервы и мышцы, утратившие свою нормальную функцию в результате болезни или травмы [1]. Двигательное возбуждение вызывается импульсными токами, после двигательного возбуждения следует сокращение мышцы. Ускорение регенерации поврежденных нервов и проводимость нервных стволов повышается благодаря

прохождению стимулирующего тока вдоль этих стволов. При электростимуляции на соответствующие мышцы накладываются электроды. Электростимулятор генерирует электрические импульсы, идущие к мышце через электроды, следовательно, мышца сокращается. После ее сокращения импульсы идут по рефлекторной дуге в головной мозг. У людей, перенесших инсульт, мышцы не сокращаются и не происходит движение, так как импульсы из головного мозга не поступают. Электростимуляцию можно проводить только на мышцах, тонус которых снижен. Поэтому электростимуляцию больных после инсульта проводят только в специализированных учреждениях под контролем врачей. На данный момент, ни один прибор, который можно приобрести для личного использования не содержит определенной системы контроля воздействия на организм человека. Следовательно, актуализируются исследования в данном направлении [2].

На основании проведенного литературного анализа можно сделать вывод, что основными тенденциями в разработке схемотехнических решений в этой области являются: повышение надежности в работе и экономичности, возможность анализа изменяющейся реакции организма на внешнее воздействие непосредственно в цикле физиотерапевтической процедуры, регулирование формы стимулирующих импульсов для достижения наилучшего терапевтического эффекта и снижения болевых ощущений, многоканальность, разделение режимов управления для врача и пациента. Необходимо учесть, что для успешного проведения электростимуляции важен правильный выбор параметров воздействия. Один из самых важных параметров является длительность импульса. Он выбирается индивидуально для каждого пациента, поэтому этот параметром должен регулироваться.

Таким образом, разработанная структурная схема канала воздействия методом электростимуляции представлена на рис.1.



Рис. 1 – Структурная схема канала воздействия методом электростимуляции

Данная схема работает следующим образом. С внешнего источника сигнала аналоговые сигналы подаются на входной усилитель и активный фильтр. Там входной сигнал усиливается и фильтруется от помех. Затем сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП). В АЦП осуществляется оцифровка входных сигналов и формируется цифровой код, поступающий в устройство управления. Микропроцессорное устройство управления является основным блоком схемы, оно выполняет следующие функции: управление напряжением на электродах аппарата – функции формирователя и распределителя широтно-импульсной модуляции (ШИМ) сигналов. Устройство управления

выполняется на микропроцессорной логике, генератор тактовых импульсов (ГТИ) обеспечивает синхронизацию микропроцессора, схема сброса формирует сигнал сброса до тех пор, пока не стабилизируется напряжение питания. В микропроцессорном устройстве управления в зависимости от частоты, амплитуды входного сигнала и заранее заданных параметров выходного сигнала (задается с помощью клавиатуры), формируются соответствующие ШИМ-сигналы, которые через выходной усилитель мощности подаются на электроды аппарата, подключенные к пациенту. Управление работой аппарата осуществляется с помощью клавиатуры, при помощи клавиатуры задается время сеанса, которое отсчитывает таймер. Управляющие команды, вводимые параметры и входные сигналы отображаются на жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ).

В микропроцессорной системе управления функции, которые реализует аппарат для электростимуляции, возложены на микроконтроллер и функционирование аппарата будет осуществляться в соответствии с программой «заложенной» в микроконтроллер. Микроконтроллер – это микропроцессорная система, изготовленная на одном кристалле, которая ориентирована на реализацию алгоритмов цифрового управления различными объектами и процессами [3].

В дальнейшем планируется разработка схемы реализации канала воздействия методом электростимуляции, расчет параметров каждого элемента и с учетом этих параметров выбор элементной базы. Следует отметить, что при разработке схемы этого канала, схемотехнически выполняются несколько плат, такие как плата обработки сигналов с внешнего источника, плата индикации, плата блока электропитания, плата формирования ШИМ-сигналов с выходом на электроды, обеспечивающие высокую надежность, малые габариты, вес и экономичность устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Осипов А. Н.* Учебно-методический комплекс по дисциплинам Электронная лечебная аппаратура / А. Н. Осипов, В. М. Бондарик. – Минск, 2006. – 222 с.

2. *Габдрахманова А.Р., Казакова М.В., Смирнова С.В.* Применение программы «Multisim» для схемотехнического моделирования канала электростимуляции пациента // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2018) [Электронный ресурс]: труды Международной научно-технической конференции / под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2018. – 1424с.

3. *Габдрахманова А.Р., Казакова М.В., Смирнова С.В.* Построение структурной схемы аппарата для электростимуляции в период реабилитации пациента после инсульта // Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2018 [текст]: сб. тр. XXXI Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 4-6 декабря 2018 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2018. – 520с.

DEVELOPMENT OF THE CHANNEL OF EXPOSURE BY THE METHOD OF ELECTROSTIMULATION

Gabdrakhmanova Alsu

alsu-g15@mail.ru

Supervisor: Svetlana Smirnova, Candidate Technical of Sciences, Associate Professor

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

This article describes the method of rehabilitation after a stroke - electrostimulation. A block diagram of a patient electrostimulation apparatus is presented. An analysis is made of the sequence of processing and converting the signals of each block of the circuit.

УДК 57.087

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПРИБОРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ ИНСУЛЬТА

Габдрахманова А.Р.
alsu-g15@mail.ru
Научный руководитель: С.В. Смирнова, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

В данном докладе описывается метод электростимуляции. Разработана функциональная схема аппарата для электростимуляции в период реабилитации пациента после инсульта. Описана работа этой функциональной схемы.

Инсульт в настоящее время является одной из основных социально-медицинских проблем современной неврологии. Инсульт – это нарушение мозгового кровообращения, то есть повреждение головного мозга, вызванное закупоркой или разрывом сосудов мозга. Большинство людей, перенесших инсульт, становятся инвалидами, нуждаются в реабилитации и даже в постоянном постороннем уходе. Чаще всего после инсульта нарушаются нормальные функции нервно-мышечного аппарата (НМА). Следовательно, необходима длительная и серьезная реабилитация пациента. Для восстановления функций нервов и мышц прибегают к такому методу реабилитации, как электростимуляция. При электростимуляции используют импульсные токи, которые вызывают двигательное возбуждение и сокращение мышц. При прохождении стимулирующего электрического тока вдоль нервных стволов повышается их проводимость, это приводит к ускорению регенерации поврежденных нервов [1].

Целью данного доклада является разработка функциональной схемы прибора для электростимуляции пациентов после инсульта.

Электростимуляция заключается в наложении накожных электродов на соответствующие мышцы. Генерируются электрические импульсы, идущие к мышце через электроды. В результате мышца сокращается. После ее сокращения импульсы идут по рефлекторной дуге в головной мозг. У людей, перенесших инсульт, импульсы из головного мозга не поступают, поэтому мышцы не сокращаются, и не происходит движение. Электростимуляцию можно проводить только на мышцах, тонус которых снижен. Поэтому электростимуляцию больных после инсульта проводят только в специализированных учреждениях под контролем врачей. На данный момент, ни один прибор, который можно приобрести для личного использования не содержит определенной системы контроля воздействия на организм человека. Следовательно, актуализируются исследования в данном направлении [2].

Анализ существующих аналогов показал, что схема канала воздействия методом электростимуляции должна состоять из генератора импульсов, усилителя мощности, гальванической развязки и самих электродов, с помощью которых происходит воздействие. По этим данным была получена структурная схема устройства (рис. 1).

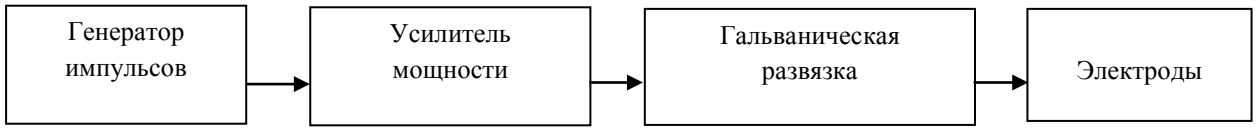


Рис. 1 – Структурная схема канала воздействия методом электростимуляции

Генератор импульсов должен состоять из генератора прямоугольных импульсов (ГПИ). ГПИ формирует импульсы прямоугольной формы, эти импульсы необходимо преобразовать в форму, которая будет близка к экспоненциальной. Для этого следует использовать генератор линейно-изменяющегося напряжения (ГЛИН). Временные диаграммы данной схемы выглядят следующим образом (рис. 2).

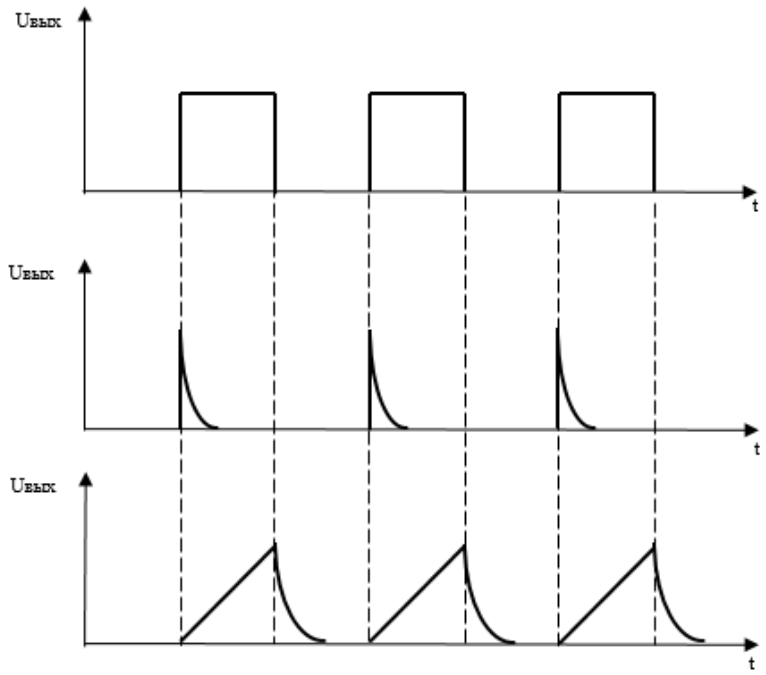


Рис. 2 – Временные диаграммы на различных участках схемы канала воздействия методом электростимуляции

Рассмотрим каждый блок структурной схемы.

Генератор линейно-изменяющегося напряжения – устройство, выходной сигнал которого представляет собой последовательность импульсов с линейно – возрастающим напряжением (рис. 3).

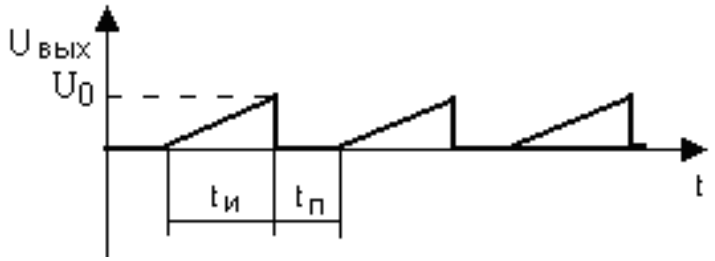


Рис. 3 – Выходной сигнал генератора линейно-изменяющегося напряжения

Интервал времени $t_и$ определяет время рабочего хода выходного сигнала ГЛИН, а интервал времени $t_п$ – интервал паузы. Величина U_0 – амплитуда импульсов.

Для формирования линейно-изменяющегося напряжения используется заряд или разряд конденсатора постоянным током. Простейшая схема ГЛИН приведена на рисунке 4.

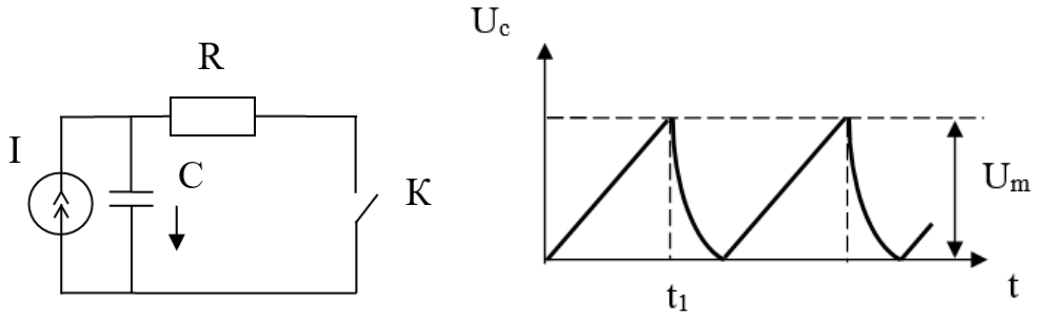


Рис. 4 – Простейшая схема ГЛИН и ее временная диаграмма

Когда ключ К разомкнут, конденсатор С заряжается от источника тока I. Тогда напряжение на нем нарастает по линейному закону. В момент времени t_1 ключ К замыкается. Начинается разрядка конденсатора через резистор R и ключ К по экспоненциальному закону. После разряда конденсатора до начального напряжения ключ К может быть разомкнут, тогда начнется вновь процесс формирования линейно нарастающего напряжения.

Генератором прямоугольных импульсов называется устройство, выходной сигнал которого представляет собой последовательность двухполярных прямоугольных импульсов (рис. 5) или однополярных импульсов.

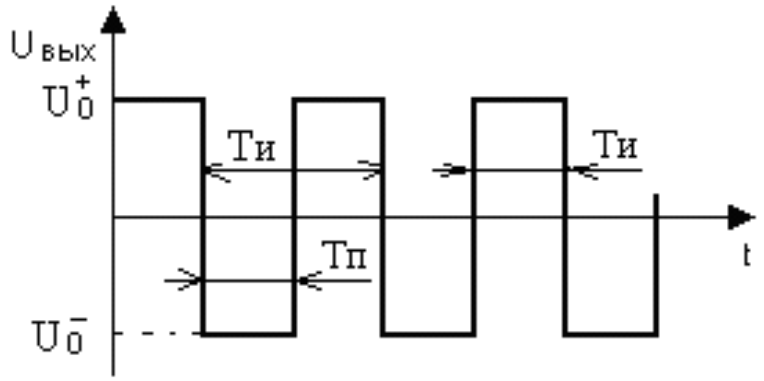


Рис. 5 – Выходной сигнал генератора прямоугольных колебаний

U_0^+ и U_0^- – соответственно положительная и отрицательная амплитуды выходного сигнала. Ти – период колебаний. Тп – длительность паузы, Ти – длительность импульса. Такой генератор можно построить на логических элементах.

Любой усилитель имеет структуру: входную и выходную цепи, к которым подключается источник сигнала $E_Г$ и нагрузочное устройство $R_Н$, источник питания и усилительный элемент (транзистор, микросхема). Для усиления мощности операционный усилитель используется в сочетании с транзисторами, например, с ЭП. Обратной связью охватывается вся схема, что повышает ее стабильность. Для получения еще большей мощности может использоваться двухтактный каскад.

Транзисторы любых каскадов выбирают исходя из того, чтобы максимальные токи, напряжения и мощности потерь не превышали допустимых для данного типа транзистора. Одновременно желательно, чтобы частота в оконечных биполярных транзисторах была не ниже верхней граничной частоты усилителя.

Применение гальванических развязок дает возможность бесконтактного управления, обеспечивает надежную защиту людей и оборудования от поражения электротоком. Таким образом, гальваническая развязка нам необходима для того, чтобы обезопасить персонал и пациента от поражения электротоком. Но в данной схеме отдельная гальваническая развязка не требуется, так как ставиться усилитель мощности.

На основе нашей структурной схемы канала воздействия методом электростимуляции составим его функциональную схему (рис. 6).

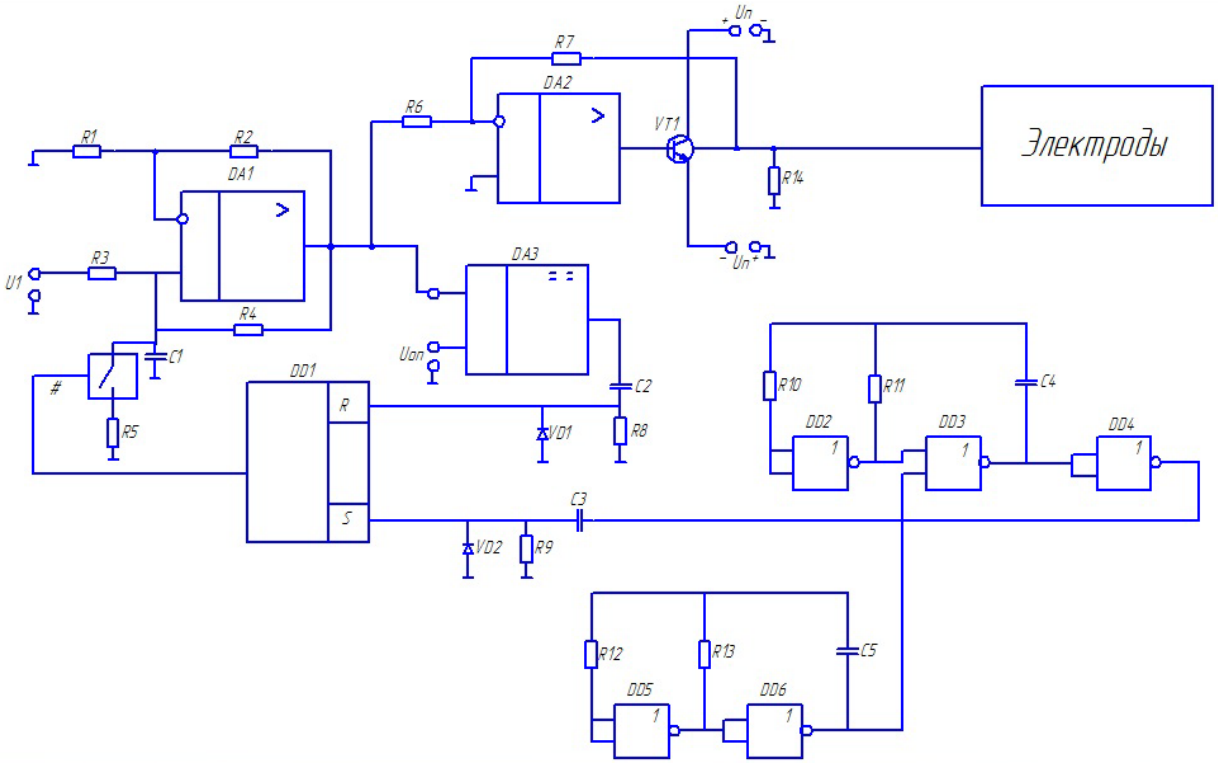


Рис. 6 – Функциональная схема канала воздействия методом электростимуляции

Рассмотрим работу этой схемы. Каскад на DA1 является стабилизатором тока. Напряжение на выходе этого каскада определяется опорным напряжением. Как только выходное напряжение сравняется с опорным, сработает компаратор, который даст импульс на вход RS-триггера. Триггер переменит свое состояние, в результате чего ключ замкнется и начнется разряд конденсатора С1. Это будет происходить до тех пор, пока генератор прямоугольных импульсов не даст новый импульс. Тогда триггер снова перевернется, тем самым ключ разомкнется и начнется следующий заряд конденсатора С1. Импульсы поступают на усилитель мощности, далее на электроды.

Таким образом, в данном докладе была представлена функциональная схема канала воздействия методом электростимуляции пациентов после инсульта и описана ее работа. В дальнейшем планируется выбор элементной базы, расчет всех элементов электрической схемы, реализация в MultiSim и разработка печатной платы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Габдрахманова А.Р., Казакова М.В., Смирнова С.В.* Построение структурной схемы аппарата для электростимуляции в период реабилитации пациента после инсульта // Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2018 [текст]: сб. тр. XXXI Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 4-6 декабря 2018 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2018. – 520с.

2. *Габдрахманова А.Р., Казакова М.В., Смирнова С.В.* Применение программы «Multisim» для схемотехнического моделирования канала электростимуляции пациента // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2018) [Электронный ресурс]: труды Международной научно-технической конференции / под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2018. – 1424с.

DEVELOPMENT OF THE FUNCTIONAL DIAGRAM OF THE DEVICE FOR ELECTROSTIMULATION OF PATIENTS AFTER A STROKE

Gabdrakhmanova Alsu
alsu-g15@mail.ru
Supervisor: Svetlana Smirnova, Candidate Technical of Sciences, Associate Professor
(*Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev - KAI, Kazan*)

This article describes the method of electrical stimulation. A functional scheme of the apparatus of technical stimulation in the period of rehabilitation of a patient after a stroke is presented. The operation of this functional diagram is described.

УДК 004.942, 681.2.088

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОМЕНТОВ ТРЕНИЯ В ОПОРАХ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ

Гайнов С.И., Улюшкин А.В.
serazhsoft@gmail.com
(Арзамасский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е.Алексеева, Арзамас)

Выполнены статические исследования гироскопических датчиков угловых скоростей для выявления вредных моментов в гироузлах влияющих на дрейф выходного сигнала. На основе полученных результатов, определены наиболее значимые моменты и составлены их математические модели. Составлена и исследована математическая модель датчика с учетом полученных моделей вредных моментов.

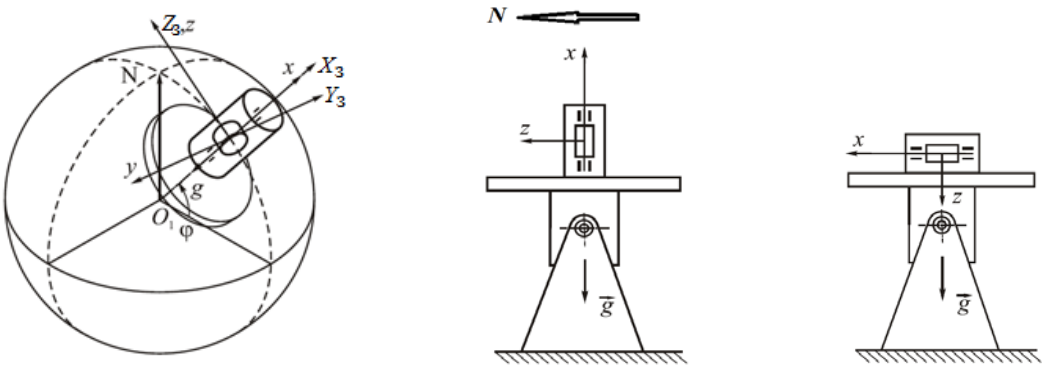
Датчик угловых скоростей (ДУС) является прибором для измерения угловых скоростей объектов. Наиболее широко используемым является электромеханический тип таких датчиков. Производственные и технологические базы приборостроительных предприятий достаточно хорошо адаптированы к производству данного типа датчиков угловых скоростей, то модернизация этих датчиков с целью улучшения их технических характеристик является важной задачей в приборостроении.

Наиболее актуальной задачей в данном вопросе является исследование источников погрешностей датчика угловых скоростей для определения возможностей повышения их точности. В качестве объекта исследования принят ДУС-300Т, выпускаемый предприятием АО «АПЗ» (г. Арзамас) для авиационно-космической сферы.

Большинство погрешностей ДУС в статическом режиме измерения определяется вредными моментами вокруг выходной оси. В их состав входят:

- не зависящие от ускорения моменты (момент трения в опорах подвижного узла; момент тяжения токоподводов; магнитный момент регулировочного устройства)
- моменты, зависящие от ускорения (момент небаланса центра масс подвижного гироузла; момент неравножесткости и деформаций корпуса поплавкового гироузла)

В рамках испытаний ДУС на АО «АПЗ» были выполнены исследования готовых изделий ДУС в статическом режиме при различных положениях оси чувствительности и выходной оси относительно оси вращения земли и плоскости горизонта (рис.1).



а) б) в)

Рис. 1 - Схема статических испытаний ДУС-300Т.

а) ориентация системы координат *xyz* ДУС относительно системы координат земли $\bar{U}$ (*N* – направление на север, *g*-вектор ускорения свободного падения, *H*-вектор кинетического момента гироузла, φ - азимут места); б) схема расположения ДУС на испытательной платформе (ось чувствительности *z* на север); схема расположения ДУС на испытательной платформе (ось

Эксперименты проводились как по типовым методикам, так и по методикам, не предусмотренным программами заводских испытаний. На основе анализа полученных результатов дрейфов нулевого сигнала, было предположено, что моментами, существенно влияющими дрейф нулевого сигнала, в процессе работы и в циклах от включения к включению являются моменты трения в опорах гироузла.

В соответствии с принципом действия ДУС [1], были определены аналитические выражения данных моментов в проекции на выходную ось включающие:

- момент сухого трения:

$$M_{TP} = M_{TP}^{0}\text{sign}\dot{\beta}\ , \tag{1}$$

где: M_{TP}^{0} -момент трения покоя ДУС;

- $sign\dot{\beta}$ -функция знака угловой скорости гироузла по выходной оси ДУС;

- момент трения покоя:

$$M_{TP}^{ПК} = \begin{cases} M_{TP}^{0} \text{ при } \dot{\beta} = 0 \\ M_{TP}^{0}\text{sign}\dot{\beta} \text{ при } \dot{\beta} \neq 0 \end{cases}. \tag{2}$$

На основе структурной схемы ДУС, была разработана схема математической модели датчика, представленная на рисунке 2 [2].



Рис. 2 – Схема объектной математической модели ДУС
в процессоре Matlab Simulink.

По проведенному анализу параметров вредных моментов трения в разработанную модель были внесены дополнения в виде дополнительных подсистем (рис 3).

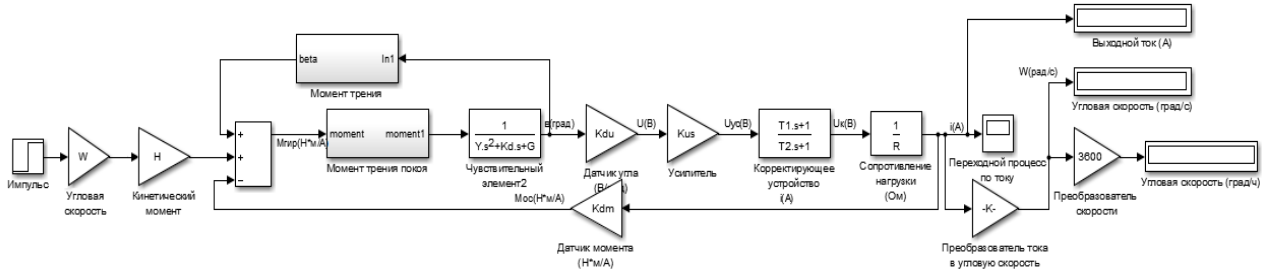


Рис. 3 - Модернизированная схема объектной математической модели ДУС.

Блок «Момент трения покоя» – подсистема, моделирующая влияние трения покоя в опорах гироузла, определяющая момент строгания подвижного гироузла. Зависимость имеет нелинейный характер (в соответствии с формулой 2), представленный на рисунке 3.

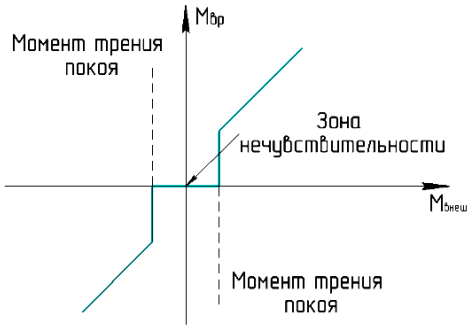


Рис. 4 – График зависимости момента вращения гироузла от момента внешних сил и момента трения покоя.

Данную зависимость в блоке реализует структура представленная на рисунке 4.

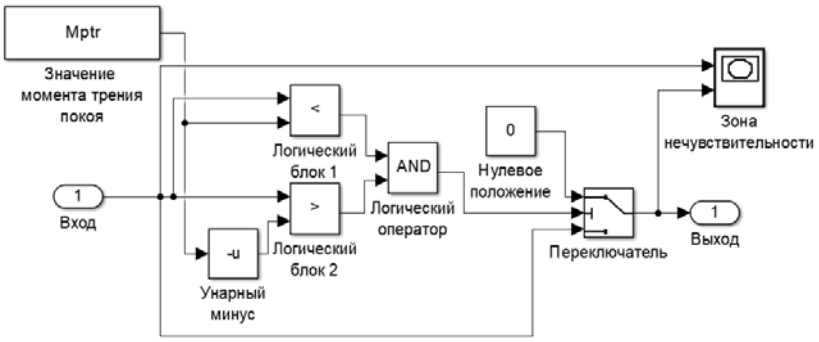


Рис. 5 - Структура моделирования влияния трения покоя.

Работает структура следующим образом. Входной вращающий момент «вход 1» сравнивается с величиной момента трения покоя «Mptr». При этом с положительной величиной производит сравнение логический блок 1, настроенный на функцию – больше, а с отрицательной величиной производит сравнение логический блок 2, настроенный на функцию меньше. Если оба условия выполняются, то на входе блока логического оператора, настроенного на функцию «логическое и» появляются логические единицы. При этом на выходе блока логики также появляется логическая единица, воздействующая на блок-переключатель и переводящая «контакт» блока в нижнее по рисунку положение. При этом сигнал входного момента проходит непосредственно на выход блока. В противном случае, когда какое-либо из условий не выполняется, на выходе блока «логическое и» формируется нуль и выходной сигнал всей структуры обнуляется [2].

Блок «Момент трения» – подсистема, моделирующая влияние трения в опорах гироузла. Величина момента трения определяется качеством поверхностей опор и давлением гироузла на опоры. Данный блок реализует математическую зависимость релейного характера (в соответствии с формулой 1), представленную на рисунке 5.

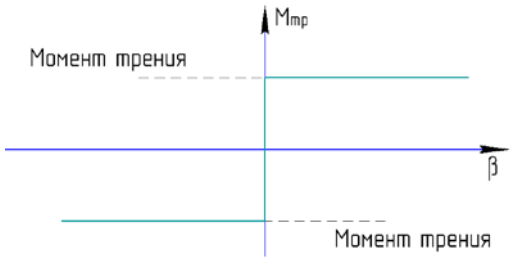


Рис. 6 - График зависимости момента трения в опорах от угловой скорости гироузла.

Данную зависимость в блоке реализует структура представленная на рисунке 6.

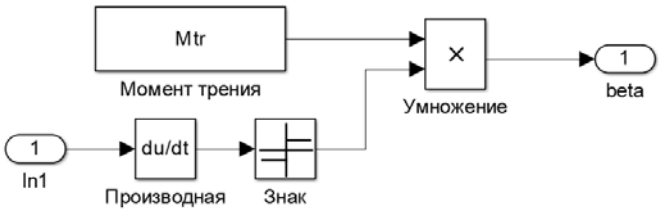


Рис. 7 - График зависимости момента трения в опорах от угловой скорости гироузла.

Структура выполняет взятие производной от угла поворота гироузла блоком «производная», а затем реализует выработку множителя (+1 или -1) в соответствии со знаком производной в блоке «знак». Затем выполняется коррекция величины момента трения «Mtr» на полученный множитель в блоке «умножение» [2].

Для учета влияния на выходной сигнал азимута места, углов пространственной ориентации и скорости вращения земли модель была дополнена дополнительными блоками выработки сигнала вырабатывающими суммарный момент, складывающийся с моментом прецессии гироузла.

Для проверки адекватности полученной математической модели был проведен ряд физических моделирований ДУС-300Т с целью получения экспериментальных опорных значений выходного тока при различных положениях датчика и расчетных значений выходного тока по разработанной модели. Результаты экспериментов представлены в таблицах 1-4.

Таблица 1

Результаты испытаний и моделирования №1 ДУС-300Т

Положение ДУС	Расчетное значение тока	Экспериментальное значение тока
Выходная ось – Север Ось чувствительности - Восток	2,07 мкА	2,08 мкА
Выходная ось – Север Ось чувствительности - Восток	0,17 мкА	0,41 мкА

Таблица 2

Результаты испытаний и моделирования №2 ДУС-300Т

Положение ДУС	Расчетное значение тока	Экспериментальное значение тока
Выходная ось – Север Ось чувствительности – Вверх	3,99 мкА	4,02 мкА
Выходная ось – Север Ось чувствительности - Вниз	-1,74 мкА	-1,87 мкА

Таблица 3

Результаты испытаний и моделирования №3 ДУС-300Т

Положение ДУС	Расчетное значение тока	Экспериментальное значение тока
Выходная ось – Север Ось чувствительности - Восток	1,12 мкА	1,13 мкА
Выходная ось – Север Ось чувствительности - Восток	1,12 мкА	0,84 мкА

Таблица 1

Результаты испытаний и моделирования №4 ДУС-300Т

Положение ДУС	Расчетное значение тока	Экспериментальное значение тока
Выходная ось – Север Ось чувствительности - Восток	2,79 мкА	2,65 мкА
Выходная ось – Север Ось чувствительности - Восток	-0,548 мкА	-0,82 мкА

Как показал сравнительный анализ результаты натурных испытаний и моделирования довольно близки. Расхождения в результатах, вероятно, следует обуславливать влиянием моментов небаланса гироузла, и необходимостью учета данного фактора в разработанной математической модели.

В целом полученная математическая модель обладает достаточной степенью адекватности и может быть применена исследования параметров гироскопических ДУС с целью оценки влияния вредных моментов как источников статических погрешностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Волков Н.В.* Проектирование гироскопических датчиков угловых параметров движения: Учеб. пособие; Нижегород. гос. техн. ун-т. Н. Новгород, 2000. - 35с.

2. *Ануфриев, И.Е.* MATLAB 7 / И.Е. Ануфриев, А.Б. Смирнов, Е.Н. Смирнова – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.: ил.

MODELING OF THE INFLUENCE OF THE FRICTION MOMENTS IN THE SUPPORTS OF THE GYROSCOPIC ANGULAR SPEED SENSOR

Gainov S., Ulyushkin A.

serazhsoft@gmail.com

(Arzamas Polytechnic Institute (branch) of Nizhniy Novgorod State Technical University named after R.Ye. Alekseev, Arzamas)

Static studies of gyroscopic angular velocity sensors were carried out to detect harmful moments in gyro nodes affecting the output signal drift. On the basis of the obtained results, the most significant moments were determined and their mathematical models were compiled. A mathematical model of the sensor has been compiled and studied, taking into account the models of harmful moments.

УДК 621.391.6

ЦИФРОВОЙ ФОРМИРОВАТЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Р.А. Гасанов

ruslan-icq@mail.ru

Национальная Академия Авиации Азербайджана, Баку

В этой статье обсуждаются методика и средства реализации эргономического мультифункционального формирователя измерительных сигналов. Составлена функциональная схема формирователя и математическая модель измерительного сигнала на его выходе, которая затем использована для численного анализа. Построена Simulink модель формирователя измерительных сигналов и приведены некоторые данные для его практической реализации.

Формирователи измерительных сигналов широко применяются в проверке и калибровке измерительной техники, настройке радиоэлектронных приборов и каналов связи и т.д. Нестабильность параметров измерительных сигналов является основной причиной неточного проведения процедур проверки, настройки, калибровки и т.д., что в свою очередь может привести к неоптимальной работе радиоэлектронных приборов и каналов связи.

Основными параметрами формирователя измерительных сигналов являются мультифункциональность (возможность формировать несколько видов измерительных сигналов), частотный диапазон, нестабильность частоты, коэффициент нелинейности измерительных сигналов, точность формирования уровня выходного сигнала и т.д.

Применяются различные методы и средства формирования измерительных сигналов. Наиболее широкую известность среди них получили *LC* и *RC* автогенераторы, мультивибраторы, генераторы на основе операционных усилителей (ОУ), блокинг-генераторы и т.д. Общими недостатками перечисленных средств являются нестабильность частоты, высокий коэффициент нелинейности (выше 5-10 %), сильная подверженность влиянию температурных изменений и немультифункциональность. Следует отметить, что для увеличения стабильности частоты формируемых сигналов применяются кварцевые фильтры [1]. Однако при этом диапазон перестройки параметров выходного сигнала существенно сужается.

Используемые в качестве источников измерительных сигналов современные цифровые генераторы достаточно дорогие и громоздки.

Таким образом, разработка эргономического мультифункционального формирователя измерительных сигналов со стабильными параметрами и низким уровнем коэффициента нелинейности выходного напряжения является актуальной проблемой.

Для решения поставленной задачи и устранения недостатков вышеперечисленных методов формирования измерительных сигналов предложена функциональная схема формирователя и средства для его обеспечения на основе RISC (Reduced Instruction Set Computer) технологий и элементов жесткой логики.

Отметим, что применение указанного подхода для формирования пилообразного напряжения обсуждено в работе [2].

Функциональная схема предлагаемого мультифункционального формирователя измерительных сигналов изображена на рис.1.

Здесь для синтеза измерительного сигнала сначала формируется двоичная последовательность, которая затем преобразуется в аналоговый сигнал посредством цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) и сглаживается фильтром (СФ). Цифровые последовательности формируются RISC-микроконтроллером (далее МК).

Двоичная последовательность формируется по выбранной математической модели, которая записана в память МК. Модель выбирается посредством блока управления (БУ). Информация о выборе типа сигнала поступает на вход блока выбора (БВ), который активирует соответствующие функциональные блоки. В представленной функциональной схеме реализованы четыре алгоритма для формирования пилообразного, гармонического, трапецеидального и прямоугольного сигналов. Согласно алгоритму форма каждого типа сигнала определяется тремя параметрами: число и длительность ступеней, а также временной промежуток между пачками ступеней (период). Величина каждого из параметров выбирается посредством БУ и отображается на блоке индикации (БИ). Сформированные двоичные последовательности подаются на вход ЦАП посредством блока коммутации (БК). В ЦАП двоичные последовательности преобразуются в аналоговый ступенчатый сигнал, который проходит через СФ, в качестве которого используется интегрирующая RC-цепь.

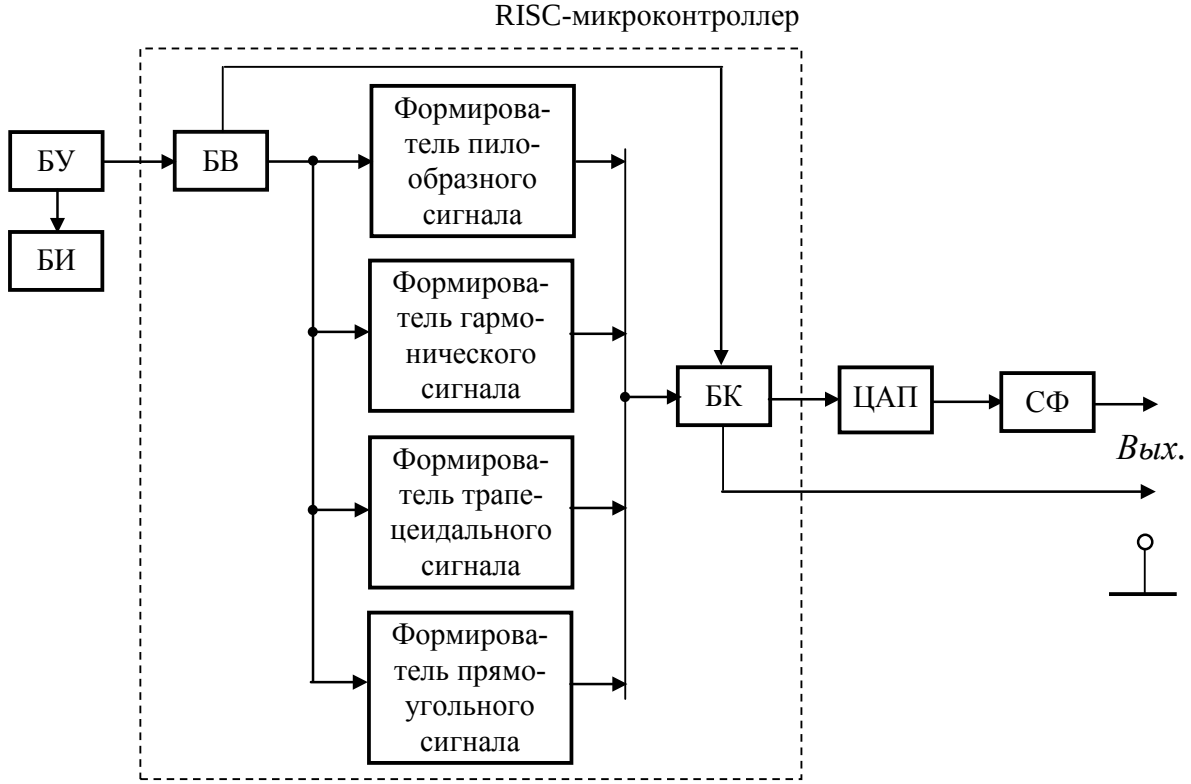


Рис.1. Функциональная схема цифрового формирователя измерительных сигналов

При формировании прямоугольного сигнала ЦАП и СФ не используются.

Последовательность синтеза математической модели измерительного сигнала на выходе формирователя рассмотрим на примере пилообразного напряжения.

Согласно принципу действия формирователя, измерительные сигналы генерируются в виде ступенчатого сигнала в соответствии двоичным последовательностям на выходе МК. Для получения математической модели такого сигнала целесообразно воспользоваться функцией Хевисайда, которая равна нулю для всех отрицательных значений аргумента и единице для всех его положительных значений:

$$\Phi(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases}.$$

Понятно, что единичный импульс может быть выражен как сумма разнополярных импульсов разнесенных на временной оси:

$$\delta(t) = \Phi(t) - \Phi(t - \Delta),$$

где Δ - длительность одной ступени или временной интервал между соседними двоичными кодами, которые формируются на выходе МК. Учитывая максимальное количество формируемых ступеней - N, можно записать выражение для ступенчатого напряжения:

$$u(t) = \sum_{k=0}^{N} s(k) \cdot \{\Phi(t - k\Delta) - \Phi[t - (k+1)\Delta]\}, \qquad (1)$$

где k - порядковый номер формируемой ступеньки; $s(k)$ - функция, выражающая тенденцию увеличения пилообразного напряжения в зависимости от порядкового номера ступеньки:

$$s(k) = \frac{h}{\Delta} \cdot k \,,$$

где h - амплитуда формируемой ступеньки.

В рассматриваемом формирователе в качестве СФ использована интегрирующая RC-цепь, которая реагирует на единичный скачок в следующей форме:

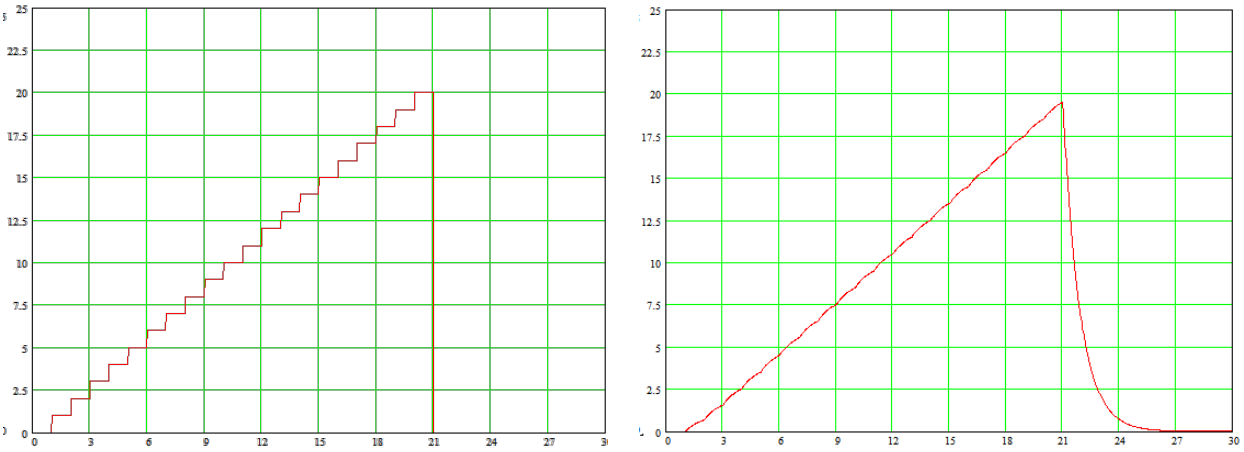
$$u_{СФ}(t) = 1 - \exp(-t / RC) \,,$$

где R и C - соответственно сопротивление и емкость СФ.

С учетом влияния СФ выражение (1) может быть переписано в следующем виде:

$$u(t) = \sum_{k=0}^{N} s(k) \cdot \{u_{\text{СФ}}(t - k\Delta) \cdot \Phi(t - k\Delta) - u_{\text{СФ}}[t - (k+1)\Delta] \cdot \Phi[t - (k+1)\Delta]\} . \qquad (2)$$

На рис.2 изображены MATHCAD графики ступенчатого и сглаженного пилообразного напряжения, построенные по формулам (1) и (2) соответственно. Параметры ступенчатого напряжения: $N = 20$, $h = 1 мВ$ и $\Delta = 1 мсек$; параметры СФ: $R = 100 кОм$ и $C = 9 мкФ$.



а) б)

Рис.2. а) эпюра ступенчатого пилообразного напряжения; б) эпюра сглаженного пилообразного напряжения.

Рассмотрим реализацию цифрового формирователя измерительного сигнала в среде MATLAB/Simulink на примере пилообразного напряжения (рис.3).

Амплитуда формируемых ступенек определяется блоком “Constant”. Блоки “Sum” и “Delay” обеспечивают инкрементирование значения амплитуды и формирование временной задержки – длительности ступеньки. Учитывая формат данных на выходе МК, в модели предусмотрен блок “Integer To Bit Converter”, который обеспечивает преобразование целочисленного значения в двоичный код.

Существуют различные варианты проектирования реальных ЦАП [3, 4]. В основном все ЦАП строятся по трем архитектурам: бинарная, унарная и Фибоначчи. Общим принцип их функционирования является применение различных взвешивающих элементов. В

качестве таких элементов могут быть использованы конденсаторы, резисторы, источники тока и т.д. В рассматриваемом случае ЦАП смоделирован по бинарной архитектуре с резистивными взвешивающими элементами. На практике такой подход применяется редко, ввиду неравномерного изменения параметров резисторов. В случае компьютерного моделирования указанный недостаток отсутствует.

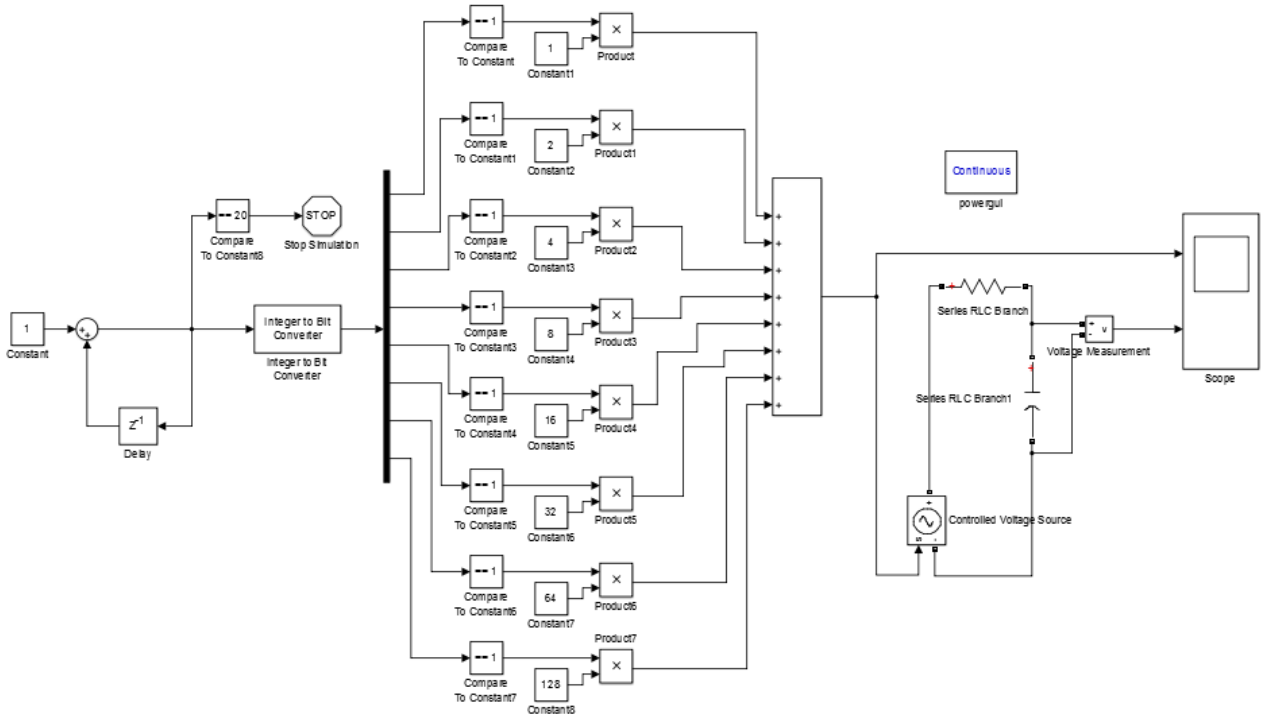


Рис.3. MATLAB/Simulink модель формирователя измерительных сигналов

На рис.3 цифровой сигнал с выходов МК поступает на входы ЦАП. Каждый поступающий бит обрабатывается тремя блоками. “Comapre To Constant” необходим для проверки уровня сигнала на входе ЦАП. Блоки “Constant” необходимы в качестве взвешивающих элементов. Алгебраическое умножение значений взвешивающих блоков и логических уровней на входах ЦАП производится блоком “Product”. Результаты работы всех звенев поступают на суммирующий блок, на выходе которого формируется аналоговое напряжение. Для моделирования RC-цепи необходимо привлечение ресурсов пакета MATLAB/SimPowerSystems, а именно элементов “Series RLC Branch”. Так как Simulink нельзя непосредственно соединять с блоками SimPowerSystems, поэтому в схеме использованы блоки управляемого источника напряжения (“Controlled Voltage Source”) и приемник напряжения (“Voltage Measurement”) [5].

На рис.4 изображены эпюры сигналов на выходах ЦАП и СФ. Параметры ступенчатого и сглаженного напряжений выбраны такие же, как и при построении в среде MATHCAD.

Практическая реализация предложенного алгоритма формирователя измерительных сигналов выполнена на МК типа PIC16F877A. В качестве ЦАП использована интегральная схема типа К572ПА1А. Программа для МК составлена в интегрированной среде разработки MPLAB.

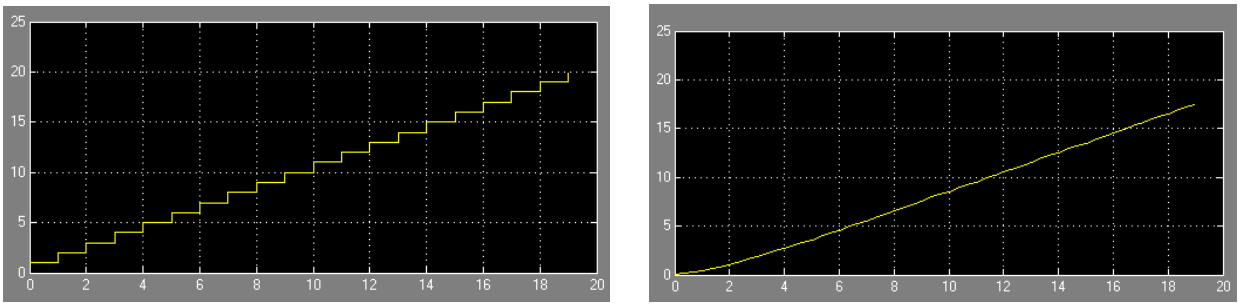


Рис.4. Эпюры сигналов на выходе ЦАП и СФ MATLAB/Simulink модели.

Выводы

Высокоточные генераторы измерительных сигналов необходимы для научно-исследовательских работ, в учебных лабораториях и т.д. В продаже имеются различные типы таких устройств. Однако они достаточно дорогие и громоздки. Предложенный формирователь свободен от указанных недостатков и может быть реализован специалистом среднего уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *John R.V.* Quartz Crystal Resonators and Oscillators For Frequency Control and Timing Applications // A Tutorial, 2004, 292 p.

2. *Гасанов Р.А.* Цифровой формирователь пилообразного напряжения // Альтернативная энергетика и экология, 2009 г., №7, с.113-116.

3. *Фрейман В.И.* Проектирование и исследование моделей аналого-цифровых преобразователей в составе элементов и устройств систем управления // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 8-2. стр.270-274.

4. *Семенцов С.Г.* Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи в системах активного управления акустическими полями // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”. 2008. №4. стр.88-102.

5. *Павлейно М.А, Ромаданов В.М., Сафронова Ю.Ф., Статуя А.А.* Моделирование работы электрических схем в Simulink. Применение операционных усилителей для фильтрации, усиления и генерации сигналов. Учебно-методическое пособие. – СПб., 2007, 210 стр.

DIGITAL FORMER OF MEASURING SIGNALS

R.A. Hasanov
ruslan-icq@mail.ru
National Aviation Academy, Baku

This article discusses the method and means of implementing a small-sized measuring signal generator. A functional diagram of the generator and a mathematical model of the measuring signal at its output, which is then used for numerical analysis, are compiled. A Simulink model of a measuring signal former is built and some data for its practical implementation are given.

УДК 681.2

ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДАТЧИКА АКСЕЛЕРОМЕТРА УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УДАРА

Гатауллин И.А.
Scainet7@mail.ru
Научный руководитель: Смирнова С.В., к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В данной работе рассматривается использование датчиков акселерометра для измерения динамических параметров удара. В нашей время существует множество способов измерения силы удара. Чаще всего используют тензорезистивные или пьезорезистивные датчики, и датчики давления ввиду их простоты. Однако достаточно точных результатов можно добиться используя акслерометрический метод измерения. Такой метод предусматривает использование датчиков акселерометров, имеющих огромное количество видов. Целью нашего доклада является построение имитационной модели датчика акселерометра, получение передаточной функции, которая может быть использована для моделирования устройства измерения динамических параметров удара.

Самые распространенные датчики, используемые для измерения силы удара - это тензодатчики, пьезорезистивные и пьезоэлектрические датчики. Все они откалиброваны, обладают высокой точностью и часто применяются для измерения силы удара в технологических процессах, так как для этих целей и были сконструированы. Но удары, как правило, наносятся не по датчикам, а по звеньям, используемым в технологическом процессе. Давление же на датчики передается через материалы или среды, обладающие совершенно различными свойствами. Естественно, что, имея после удара на выходе датчиков только форму ударного импульса, можно говорить о силе удара только в каких-то относительных единицах. При осуществлении технологических операций абсолютные значения силы удара, как правило, не важны. Но, калибровка измерений даже в случаях, когда свойства, размеры и форма соударяющихся тел не меняется, очень сложна.

При измерениях в спорте удары тоже наносятся не по самим жестким датчикам, а по различным демпфирующим подушкам и элементам, которые защищают конечности спортсменов от возможных травм. И когда необходимо получить абсолютные значения силы ударов задача усложняется и становится практически неразрешимой даже в случае выбора одной мишени-эталона, так как ударные конечности разные, а удара-эталона не существует.

Таким образом, измеряя силу удара с помощью таких датчиков, в конечном счете, измеряют силу, возникающую при ударе, и пытаются ее интерпретировать как искомую силу удара, а она по законам физики определяется упругими свойствами мишени и ударной конечности, а также их размерами, формой и относительной скоростью движения. Таким образом, даже рассматривая удар как столкновение двух тел (ударной конечности и мишени), обладающих определенными свойствами, формой и массой, невозможно провести однозначную калибровку. Удар же, гораздо более сложен и продолжителен, чем простое столкновение. Поэтому, имея только форму ударного импульса и не имея абсолютной калибровки, невозможно получить корректные результаты при измерении силы и энергии удара с помощью тензодатчиков, пьезорезистивных и пьезоэлектрических датчиков силы и давления.

Проведя потентно-реферативное исследование были найдены статьи, представляющие наибольший интерес Патент №2322279 C1, автор Савельев Владимир Николаевич, Россия «Способ определения динамических параметров удара, характеризующих силу», Дата публикации: 20.04.2008, бюл. №11.[1]

Также интерес представляет способ определения параметров удара, включающие измерение ускорения руки или других звеньев тела спортсмена во время удара (см. патент РФ №2212920, МПК A63B 24/00).

Известен способ определения параметров удара при помощи измерения скорости сближения ударяющего элемента и приемника ударов (см. патент РФ №2155623, МПК A63B

69/00), скорости движения конечности (см. патент РФ №2038836, МПК A63B 69/00, A63B 71/06).

На основе патентно-реферативного поиска была предварительно разработана следующее устройство.

Разрабатываемое устройство (рис. 1.) представляет собой боксерский мешок 1, выполненный из упругого ударопрочного материала. В качестве наполнителя мешка 1 используется прессованная поролоновая крошка 2. Мешок 1 удерживается на специальной оси 3, реализованный с возможностью колебаний относительно основания с помощью необходимого упора и противовеса 5. Для безопасности нижних конечностей спортсмена, основание покрыто слоем губчатой резины и обтянуто упругим ударопрочным материалом.

Тренировка осуществляется следующим образом. Мешок 1 занимает положение 8 перпендикулярно опорной поверхности. Спортсмен производит классический удар правой рукой, а затем, когда мешок отклоняется от вертикальной плоскости (например, на 20 градусов) – догоняет его ударом передней (правой) руки. В данное устройство устанавливаются три датчика-акселерометра 6. На рисунке 1 они изображены кругом. Датчики 6 фиксируют значения ускорений по трем осям и передают их в измерительный блок 4, который располагается в основании, как показано на рисунке 1. Датчики 6 расположены вертикально вдоль центральной оси мешка 1. Весь мешок условно делится на части с одинаковой массы, притом размер каждой части по вертикали должен быть меньше диаметра мешка. В центре тяжести каждой части помещается акселерометр. Все это делается для упрощения процедуры расчета силы удара по данной конструкции.

Блок обработки сигналов – измерительный блок 10 имеет беспроводную связь с пультом управления 9, расположенным вне мешка, к примеру, в руках у тренера. В режиме работы тренажера на блоке управления высвечивается суммарное значение силы удара, выраженное в единицах кГс (килограмм сила), для определения уровня физической подготовки спортсмена. для удобства тренировочного процесса это значение сравнивается в программе микроконтроллера измерительного блока 4 и командный сигнал подается на светодиодную ленту 7 нужного цвета. Зеленый цвет означает хорошую физическую подготовку спортсмена, желтый – удовлетворительную, а красный – плохую.

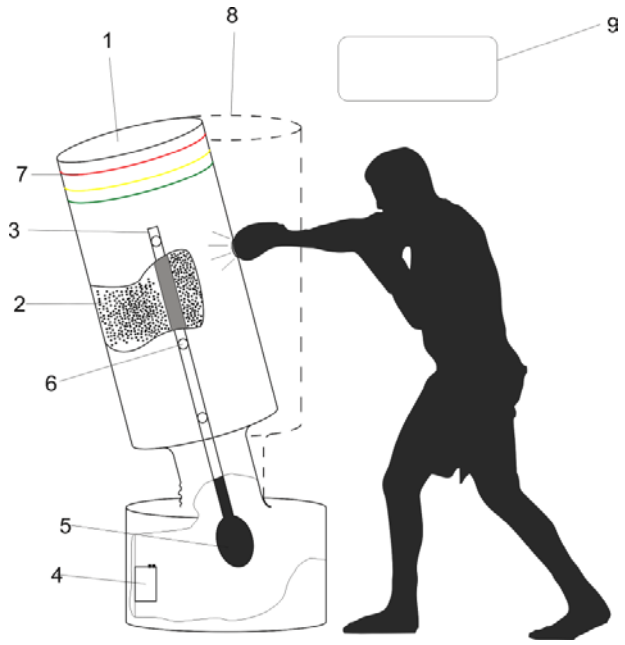


Рис.1. Устройство для тренировки спортсменов-единоборцев с датчиками.

Достоинство этого тренажера заключается в том, что удары можно наносить не в определенном, а в любом направлении, кроме ударов сверху.

Такой тренажер позволяет не терять точности измерений даже в случае нанесения быстрой серии ударов, когда мешок раскачивается и не успевает принять исходное положение. Это позволяет суммировать энергию или силу ударов с высокой точностью и правильно оценить не только физическую форму спортсмена, но и уровень его мастерства. Например, в режиме определения физической формы спортсмена имитируется поединок с 3 или 12 раундами по три минуты с одноминутным перерывом. Суммируя энергию ударов за время поединка можно легко оценить физическую форму спортсмена (это видно по светодиодным лентам, будет загораться тот цвет, энергия ударов которых попадает в диапазон нужного уровня). Суммируя силу ударов (так называемый тоннаж) можно оценить и уровень мастерства, так как мастерство боксера как раз и заключается в том, чтобы нанести удар максимальной силы при меньших энергетических затратах.

Используя данные статьи [4], была построена имитационная модель MEMS-акселерометра MMA7260Q. Данный акселерометр был выбран исходя из его подходящих характеристик, а именно: чувствительность по трем осям XYZ; выбор чувствительности датчика и диапазона измерений: 1.5 g, 2 g, 4 g и 6 g - Высокая точность измерений; низкое энергопотребление: 500 мкА в рабочем режиме и 3 мкА в спящем; работа при напряжении питания 2.2 – 3.6В.

Для начала мы находим передаточную функцию датчика по каналу ускорение – смещение инерционной массы, используя выражение (1):

$$\boldsymbol{W_1(p)} = \frac{x(p)}{a(p)} = \frac{-m}{m*p^2+b*p+k}, \quad (1)$$

где $\boldsymbol{W_1(p)}$ – передаточная функция датчика ускорения по каналу ускорение – смещение инерционной массы; m-величина инерционной массы; b- коэфициет сопротивления; k-жёстость упругого элемента.

Так как выходное напряжение датчика прямо пропорционально смещению инерциальной массы, воспользовавшись выражением (1) запишем передаточную функцию датчика по каналу ускорение – выходное напряжение:

$$\boldsymbol{W_Д(p)} = \frac{K_Д}{a_1*p^2+b_1p+1} \quad (2)$$

где $\boldsymbol{W_Д(p)}$ – передаточная функция датчика по каналу ускорение – выходное напряжение; $\boldsymbol{K_Д}$ – статический передаточный коэффициент датчика по каналу ускорение – выходное напряжение; $\boldsymbol{a_1}$ и $\boldsymbol{b_1}$ – коэффициенты, определяющие постоянные времени объекта второго порядка.

Выражение (2) представляет собой математической моделью акселерометра. Чтобы его использовать необходимо, найти статический передаточный коэффициент датчика и коэффициенты, определяющие постоянные времени.

Для определения статического передаточного коэффициента акселерометра MMA7260Q воспользуемся справочными данными из [5]. По справочным чувствительность датчика составляет 0,8 В/g, а частота резонанса – 2 кГц. Определяем статический передаточный коэффициент:

$$\boldsymbol{K_Д} = \frac{-0,8}{9,8} = -0,082. \quad (3)$$

Для определения коэффициентов $\boldsymbol{a_1}$ и $\boldsymbol{b_1}$ используем типовую амплитудно-частотную характеристику акселерометра [6], которая построена для объекта с передаточной функцией вида:

$$\boldsymbol{W_2(p)} = \frac{1}{a_1*p^2+b_1p+1}. \quad (4)$$

Подставляя в (4)
$\boldsymbol{p = j\omega}$ находим КФЧХ:

$$A_2(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(1-a_1*\omega^2)^2+b_1^2*\omega^2}}, \quad (5)$$

$$G_2 = -10 * \lg((1 - a_1 * \omega^2)^2 + b_1^2 * \omega^2. \quad (6)$$

Примем во внимание, что подъем ЛАЧХ на резонансной частоте согласно [6] составляет +1,5 дБ, также примем, что эта точка является максимальной на характеристике. Используем эти данные и составим систему двух уравнений с двумя неизвестными, из которых и определим коэффициенты a_1 и b_1.

Они принимают следующие значения: $a_1 = 0.342 * 10^{-8}$ и $b_1 = 0.56 * 10^{-4}$.

Поскольку неизвестные параметры для выражения (2) найдены, передаточную функцию MEMS-акселерометра MMA7260Q можно записать в следующем виде:

$$W_Д(p) = \frac{-0.082}{0.342*10^{-8}*p^2+0.56*10^{-4}*p+1}. \quad (7)$$

Выводы: получена обобщенная математическая модель MEMS акселерометра в виде передаточной функции, которая может быть использована при моделировании системы тренажера для спортсменов. Кроме того, аналитическим путем получены коэффициенты передаточной функции MEMS-акселерометра MMA7260Q, которые помогают исследовать влияние динамических параметров данного акселерометра на измерительные ошибки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Патент №2322279 Способ определения динамических параметров удара, характеризующих силу// Савельев Владимир Николаевич//Открытие. Изобретения 2008.

2. *Гуртовцев А.* Измерение давления в автоматизированных системах// Журнал “Современные технологии автоматизации”. 2001. №4. – с. 76-89.

3. *Распопов В.Я.* Микромеханические приборы// -2007// 400с

4. *Диденко В.А., Полено А.Н., Бондаренко А.Ф.* Математическая модель MEMS-акселерометра//Домбасский Государственный технический университет, Сборник Трудов. 2011. № 35. Стр. 325-333.

5. *Абрамов А.* Тензометрические датчики// Журнал "Электроника". 2008. №2.- с. 34 – 35.

6. *Фрайден Дж.* Современные датчики. Справочник / Дж. Фрай-ден. – М.: Техносфера, 2005. –592 с.

Сайты Интернета:

7. www.fips.ru.

CONSTRUCTION OF THE IMITATION MODEL OF THE ACCELEROMETER SENSOR OF THE DEVICE FOR MEASURING DYNAMIC IMPACT PARAMETERS

Gataullin I.

Scainet7@mail.ru

Supervisor: S. Smirnova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professo

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

This paper discusses the use of accelerometer sensors to measure the dynamic parameters of an impact. In our time there are many ways to measure the impact force. The most commonly used strain gauge or piezoresistive sensors, and pressure sensors because of their simplicity. However, sufficiently accurate results can be achieved using an axlerometric measurement method. This method involves the use of accelerometer sensors that have a huge number of species. The purpose of our report is to build a simulation model of the accelerometer sensor, to obtain a transfer function that can be used to simulate a device for measuring dynamic parameters of impact.

УДК 618.2-071.6:618.5-07

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ СХЕМОТЕХНИКИ ЭЛЕКТРОГИСТЕРОГРАФИЧЕСКОГО КАНАЛА

Гизамова А.Р., Тюрина М.М.
qwerty171198@mail.ru
Научный руководитель: А.А. Порунов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В данной статье обоснована актуальность контроля параметров состояния системы «мать-плод». Представлены результаты схемотехнической разработки принципиальной электрической схемы модели электрогистерографического канала акушерского монитора.

Материнская и детская смертность всегда оставалась одним из наиболее важных и комплексных критериев оценки благосостояния страны, так как этот показатель однозначно показывает состояние здоровья населения. В сегодняшней России показатель рождаемости (число детей, рожденных одной женщиной в течение жизни) почти вдвое ниже того, что необходимо для простого воспроизводства. Около 530 000 женщин умирают по всему миру в период беременности, во время родов или после них. Коэффициент младенческой смертности в первом полугодии 2018 года снизился до 5,3‰, в отличие от 2017 года, а материнская на 18%. В любом случае, этот показатель достаточно большой. В системе здравоохранения государство также прикладывают значительные усилия к повышению качества контроля за состоянием здоровья беременных и процессом родовспоможения, ведь для этого есть более чем серьезные основания – показатели материнской и младенческой смертности в нашей стране в два-три раз выше, чем в наиболее благополучных государствах, причем младенческая смертность в несколько раз превышает число случаев материнских смертей. Данная демографическая ситуация во многом обусловлена ухудшением репродуктивного здоровья женщины; низким уровнем оснащенности родильных отделений средствами непрерывного наблюдения и контроля процесса родов; низким качеством медицинской помощи, предлагаемой акушерами и гинекологами. Для того, чтобы уменьшить смертность и заболеваемость матери и плода, необходимо разработать новейшие технологии ведения беременности и родов, а также сопровождающие их технические средства.

В значительной мере этот факт обусловлен тем, что одним из ключевых факторов, определяющих течение и исход родов, является сократительная деятельность матки (СДМ). Важность и сложность проблемы определяется высокой частотой возникновения аномалий СДМ, а также многообразием последствий их неблагоприятных влияний на организм матери и плода [1]. В этом случае, возрастает актуальность задачи улучшения схемотехнических решений для цепей получения информации о сократительной функции мускулатуры матки. Нарушения СДМ представляют собой самое частое осложнение родового акта, они регистрируются в среднем в 16-20% случаев, причем в последние годы этот показатель имеет тенденцию к росту. Частота дискоординации родовой деятельности колеблется от 1-3% до 6-15%, патологический прелиминарный период наблюдается в 10-18% случаев [2].Чрезмерно сильная родовая деятельность может приводить к преждевременной отслойке плаценты, нарушению механизмов ее физиологического отделения, глубоким разрывам мягких тканей матери, патологической кровопотере. Слабая родовая деятельность проявляется замедленным раскрытием шейки матки, увеличением промежутков между схватками, нарушением их ритмичности, недостаточной силой сокращения матки, нарушением метаболизма биологически активных веществ. Различают две слабости родовых схваток: первичную и вторичную. При первичной слабости с самого начала родовая деятельность неэффективная, схватки слабые. Вторичная слабость возникает в процессе нормального течения родов. Причины слабости родовой деятельности весьма разнообразны. Это могут быть изменения функции нервной системы, нарушения эндокринных функций, заболевания обменного характера и др.

Таким образом, представленный выше анализ подтверждает актуальность темы слабости родовой деятельности (СРД) и её коррекции в процессе родов. В частности, весьма острой является задача, связанная с поиском новых диагностических методик и алгоритмов активного ведения беременности и родов, направленных на снижение перинатальной смертности и заболеваемости [2]. Все это говорит о том, что остро стоит не только проблема патологии СДМ, но и значение аппаратного сопровождения процесса мониторинга за состоянием матери и плода во время родов. Имеющиеся акушерские мониторы (АМ) не решают существующие проблемы, связанные со снижением материнской и перинатальной смертности, а также частоту родовых травм. Это диктует необходимость разработки схемотехнических решений для гистерографического канала акушерского монитора нового поколения новой системы, который содержит эталонную модель для прогнозирования момента приближения СРД (дистоции).

Устройство контроля и прогнозирования состояния системы «мать-плод» в процессе родовспоможения состоит из электрокардиографического канала плода, электрогистерографического канала матери, эхокардиографического канала плода, электрокардиографического канала матери, электроэнцефалографического канала матери, канала контроля системы дыхания матери, интегрального блока тревожной сигнализации и устройства обработки информации [3].

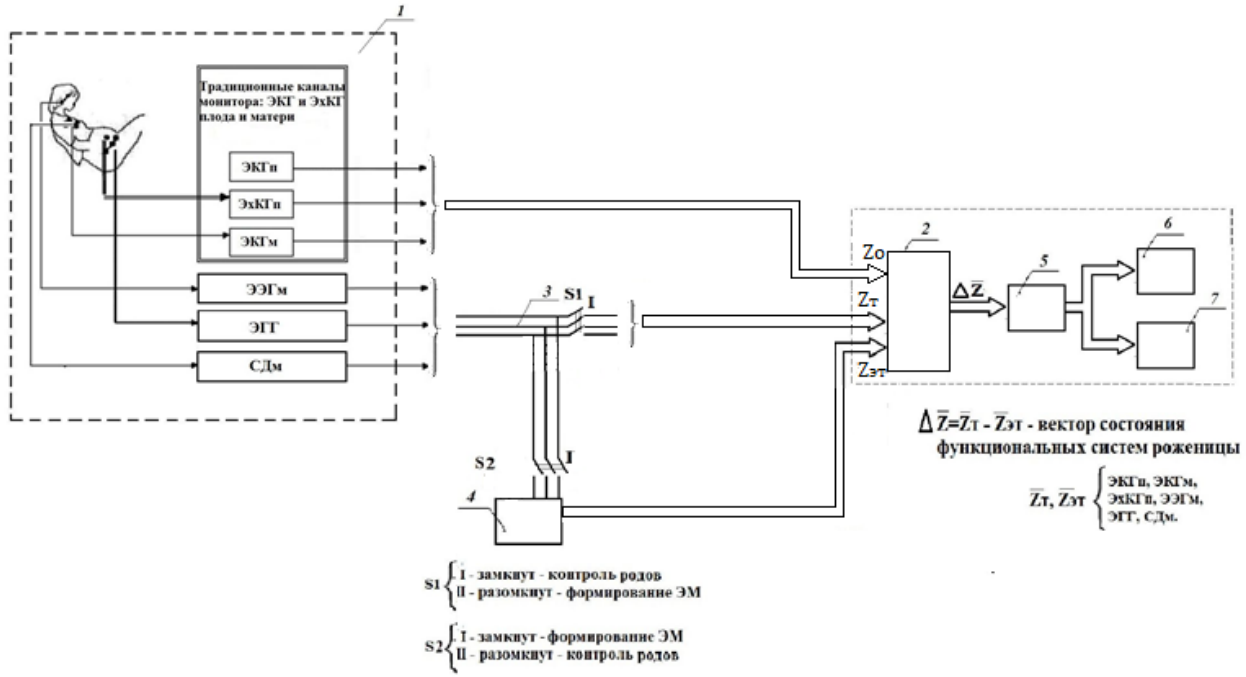


Рис.1 Структурно-функциональная схем акушерского монитор с прогнозированием момента приближения дистоции на основе оценки невязки ΔZ = ZT –ZЭ [4].

Электрогистерографический (ЭГГ) канал, осуществляя регистрацию биоэлектрической активности матки, позволит определить момент возникновения слабости родовой деятельности и, на основе оценки динамики развития этого процесса применить как физиотерапевтические, так и фармакологические воздействия на процесс родов. Электрогистерографический канал акушерского монитора служит для регистрации биоэлектрической активности (сократительной функции) матки.

В данной статье предложено выполнить представление электрогистерографического канала с учетом основных его функций.

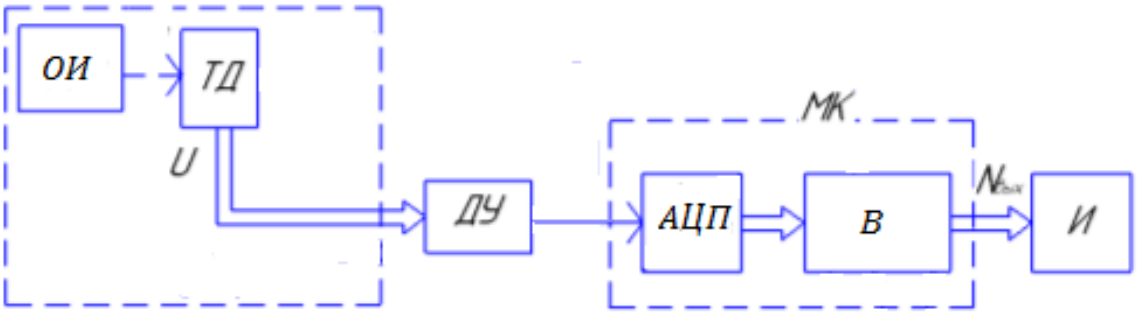


Рис. 2. Функциональная схема модуля гистерографического канала. Составными частями разрабатываемой функциональной схемы являются: ОИ – объект исследования, ТД – токодатчик, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, В – вычислитель, МК – микроконтроллер, И – индикатор (цифровой дисплей устройства).

Проведенный анализ схемы на рис.1. и рис.2. позволяет выделить основные блоки и предложить схемотехнические решения модуля гистерографического канала, представленного на рис.3.

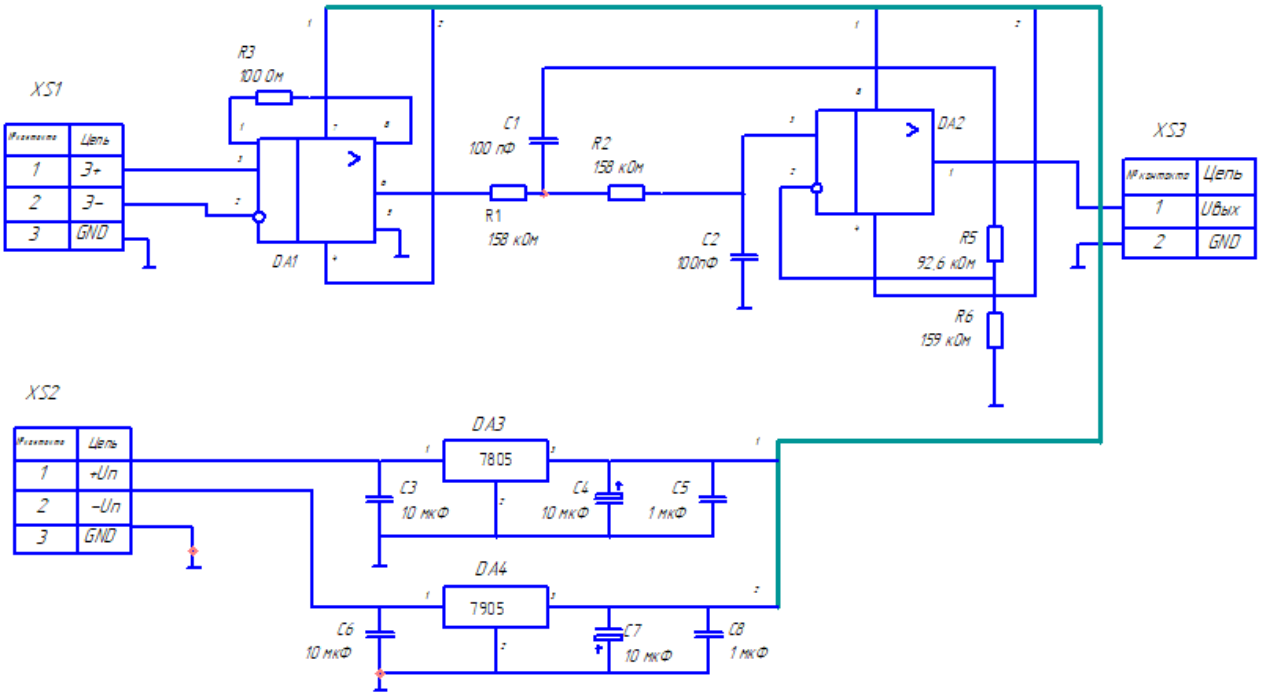


Рис. 3. Схема принципиальная электрическая модуля электрогистерографического канала.

Входным сигналом является биопотенциалы с электродов, установленных на роженице. На основе этого сигнала можно определить момент возникновения слабости родовой деятельности (дистоции). В этой схеме (рис.2) с помощью операционных усилителей осуществляется преобразование информативного сигнала по уровню и спектру, что позволит в дальнейшем после цифровой обработки получить информацию о приближении дистоции, а также использовать эту информацию для блока тревожной сигнализации. Все каналы выполняются в модульном исполнении, при этом модуль гистерографического канала является предметом разработки в данной статье. Представленная информация является исходной для разработки функциональной электрической схемы модуля.

Датчик для восприятия биоэлектрической информации от роженицы выполнен в виде электродной системы, который находится в непосредственном прикосновении с проекции матки на лобок. Воспринятый электрический сигнал является низким по уровню и также содержит высокочастотные составляющие обусловленными миографическими артефактами. На основании этого можно сделать вывод о том, что входной усилитель должен быть

высокоомным и дифференциальным, то есть иметь каскады типового измерительного усилителя. После усиления сигнал поступает на фильтр нижних частот, который пропускает частотный спектр сигнала ниже частоты среза и подавляющей частоты сигнала выше этой частоты.

Таким образом, представленные в данной статье материалы позволяют обоснованно выбрать структуру акушерского монитора с применением принципа эталонной модели при обработке информативных сигналов гистерографического канала, канала энцефалографии и системы дыхания, что позволяет с учетом традиционных каналов комплексно оценить состояние системы «мать-плод». Кроме того, на основе структурных построений гистерографического канала реализованы схемотехнические решения основных его модулей. Представленная рекомендация по выбору обоснования структурных и схемотехнических построений гистерографического канала могут быть использованы при разработке многоканального акушерского монитора нового поколения, с повышенной достоверностью выявления СДМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Серов В.Н., Грошилина Г.С., Кожин А.А.* Ранняя диагностика и прогнозирование слабости родовой деятельности у женщин из групп акушерского риска //Журнал Российского общества акушеров-гинекологов. – 2006. – №1. – С. 17.

2. *Абрамченко В.В.* Активное ведение родов: Руководство для врачей. СПб: Специальная литература, 1999. – С. 608.

3. Патент на изобретение РФ № 2568254 20.11.2015 (по заявке 2014106016/14 от 18.02.2014). «Устройство контроля и прогнозирования состояния системы «мать-плод» в процессе родовспоможения»/Авт. Порунов А.А., Тюрина М.М., Пушкова А.С. Опубл. в бюл. № 32, 2015.

4. *Порунов А.А, Тюрина М.М. и др.* Структурное построение канала идентификации опасных ситуаций на основе использования эталонной модели системы мать-плод // Труды Международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии (ПИТ 2017)» / под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2017. – С.548-552.

FEATURES OF DEVELOPMENT OF ELECTROSTEROGRAPHIC CHANNEL CIRCUITS

Gizamova A., Turina M.

qwerty171198@mail.ru

Supervisor: A. Porunov, candidate of technical sciences, docent

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

This article substantiates the relevance of monitoring the parameters of the state of the mother-fetus system. The results of the circuit design of the circuit diagram of the electro-hystero-graphic channel model of the obstetric monitor are presented.

УДК 616.12:531.7

АМБУЛАТОРНОЕ УСТРОЙСТВО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПРИСТУПОВ АПНОЭ СНА

Гилязова А.Ф
10kalounge@mail.ru
Научный руководитель: А.В. Бердников, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В рамках доклада решалась задача разработки устройства для максимально комфортного и информативного мониторинга сна пациента с целью выявления эпизодов сонного апноэ. Анализ динамики физиологических показателей организма во время проявления и при отсутствии апноэ сна позволил выделить два диагностически значимых показателя: дыхание, электрокардиограмма (ЭКГ). В ходе выполнения работы была разработана структурная схема амбулаторного устройства предупреждения приступов апноэ сна, позволяющей осуществлять синхронный съем двух биомедицинских сигналов для диагностики сонного апноэ.

Введение

Определение синдрома апноэ, наиболее точно сформулировал проф. Гуилеминолт К.: «Синдром апноэ во сне – состояние, характеризующееся наличием храпа, периодически повторяющимся частичным или полным прекращением дыхания во время сна (достаточно продолжительным, чтобы привести к снижению уровня кислорода в крови), грубой фрагментацией сна и избыточной дневной сонливостью».

Непосредственной причиной расстройств дыхания при апноэ сна (АС) является спадение стенок глотки во время вдоха при том, что дыхательные движения диафрагмы и вспомогательных дыхательных мышц сохраняются.[2] Патологическое число апноэ отмечается у пациентов с гипертрофией глоточных и язычной миндалин, аденоидами, параличом голосовых складок, разрастаниями лимфоидной ткани при болезни Ходжкина. Важную роль играет и состояние носового дыхания. Искривление носовой перегородки, застойный отек слизистой оболочки носа при различных формах хронических ринитов, полипозные риносинуситы предрасполагают к развитию синдрома ОСА. К сужению глоточного пространства приводят и аномалии строения лицевого черепа, такие как ретро– и микрогнатия, макроглоссия и приобретенные деформации скелета и зубочелюстной системы. [1]

Для оценки того, страдает ли пациент от АС, применяли различные способы. Наиболее исчерпывающим способом является клиническая полисомнография, которая может диагностировать много значительных патологий сна. Однако полисомнография требует пребывание в течение ночи в специальном больничном учреждении или центре лечения расстройств сна, в присутствии специалистов для контроля как оборудования, так пациента.

Устройства для домашнего применения, которые измеряют и объединяют насыщение кислородом крови, частоту пульса, поток воздуха, интенсивность храпения и движения головой, также применялись для оценки апноэ во сне. Хотя данные устройства менее дороги, чем метод полисомнографии, устройства по–прежнему являются слишком дорогими и причиняющими неудобство.

Анкеты и тесты также использовались для оценки апноэ во сне. Однако, хотя анкеты и тесты бесплатны и легко собираются, их точность при оценке апноэ во сне очень ограничена.

Для оценки апноэ во сне использовали также аудиозапись. Хотя аудиозапись можно получать дешево и ненавязчиво, аудиозапись чувствительна к шумам, например, окружающему шуму, что снижает точность метода.

Таким образом, целью исследования является разработка системы, которая ориентирована на амбулаторное применение больными в домашних условиях для постоянного ночного слежения за своими функциональным параметрами для выявления и предупреждения приступов апноэ.

Проведенные патентные исследования позволили выявить страны и фирмы, занятые разработкой новых технологий по тематике исследования с точки зрения изучения проблем и

вариантов их решения при разработке устройства предупреждения приступов апноэ сна, в частности, выявление предикторов возникновения апноэ сна.

В связи с этим были просмотрены материалы по следующим странам: США, Россия, Япония, Германия, Великобритания и Франция. Глубина патентно-информационного поиска составила 22 года: с 1997 по 2019 год.

Динамика публикаций патентов по теме «Устройство для регистрации апное» представлена в табл.1.

Таблица 1

Динамика патентования

Страна	1997-2001	2002-2005	2006-2009	2010-2013	2014-2019	Общее количество
Россия	3	3	5	6	13	31
США	6	2	2	4	13	27
Япония	1	1	2	1	5	10
Франция	1	1	2	0	0	4
Англия	0	0	1	0	0	1
Германия	0	1	0	1	0	2

На основании данных, представленных в таблице 1, был построен график публикаций патентов по ведущим странам мира (рис.1)

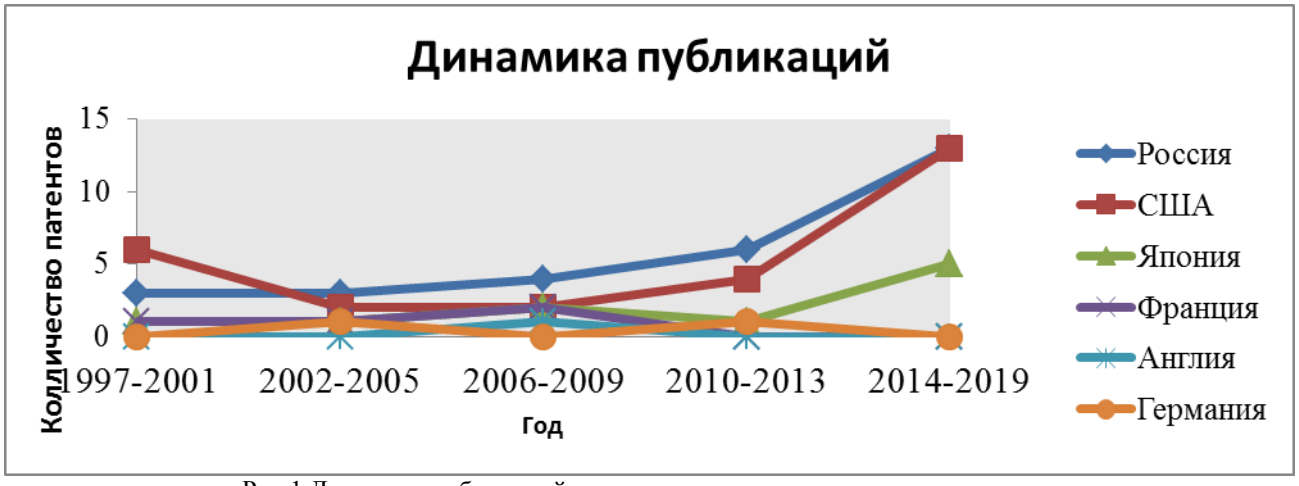


Рис.1 Динамика публикаций по техническим решениям ведущих стран

Из представленных данных видно, что за последние 22 года Россия и США являются явными лидерами в разработке и проектировании устройств для регистрации апноэ. Анализ патентно-реферативного материала в данном ключе показал, что разрабатываемое устройство является актуальным и будет оставаться актуальным в недалеком будущем, так как из таблицы и графика виден рост патентных документов по ведущим странам.

Анализ способов и методов обнаружения апноэ по патентно–реферативному поиску

В ходе поиска и анализа приборов и способов обнаружения апноэ были рассмотрены различные решения для получения информативных параметров отмеченного явления.
На основании полученных данных была построена диаграмма, представленная на рис.2.

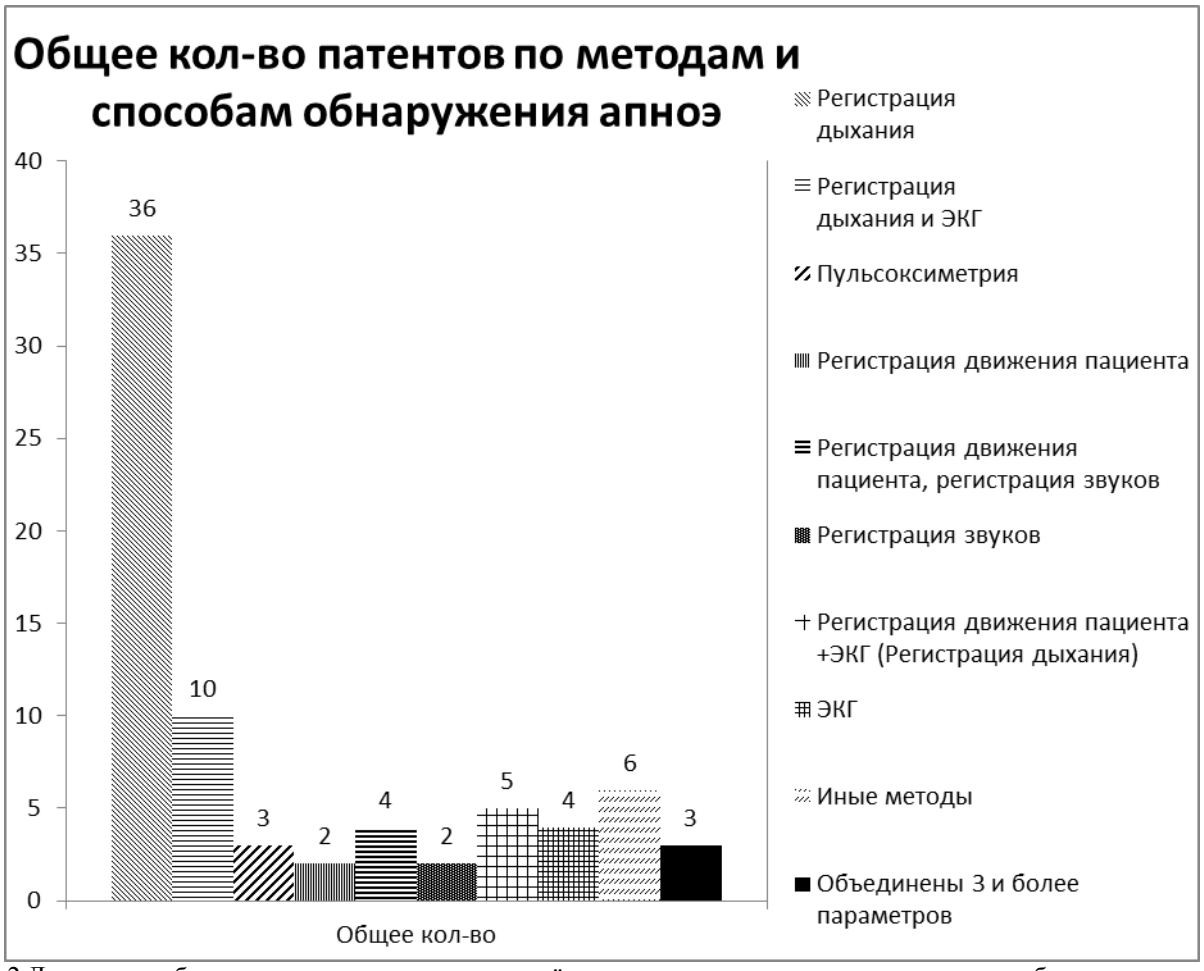


Рис.2 Диаграмма общего числа патентов, распределённых по ведущим методам и средствам обнаружения апноэ

Основываясь на представленных данных можно сделать вывод, что наиболее точные физиологические сигналы это: ЭКГ, насыщение крови кислородом и дыхательные движения, и, как минимум, один из них должен присутствовать в разрабатываемом устройстве. ЭКГ позволяет выявить эпизоды ишемии миокарда, нарушения проводимости и ритма сердца, и их связь с апноэ. С помощью датчика дыхания возможно определить генез развития апноэ у пациента, а с помощью регистрации десатурации определяют степень страдания организма, ведущие к развитию той или иной симптоматики. Менее целесообразно использовать ЭЭГ сигнала, так как у него невысокий диагностический перфоманс и большое количество датчиков.

На основании проведенного анализа технических решений были выявлены определяющие физиологические параметры для съема информации регистрацию дыхания и ЧСС, поскольку выбранные параметры наиболее точно дают оценку здоровью биологического объекта.

Выбор и обоснование базового варианта построения разрабатываемого устройства регистрации приступов апноэ сна

При проведении анализа отобранной группы патентов, был выявлен прототип, являющийся наиболее близким к предлагаемому устройству. В патентном документе представлено устройство для регистрации апноэ и определения его типа с помощью совместной регистрации температуры вдыхаемого/выдыхаемого воздуха и сигнала дыхания. (Патент RU 155 990, МПК A61B 5/08, опубликовано 27.10.2015).

Совместный анализ сигнала дыхания и сигнала, регистрируемого с помощью датчика температуры вдыхаемого/выдыхаемого воздуха, позволяет определить тип зарегистрированного эпизода апноэ. Совместная регистрация температуры

вдыхаемого/выдыхаемого воздуха и сигнала дыхания позволяет дифференцировать тип зарегистрированного эпизода апноэ, что является ценным диагностическим показателем.

Недостатками данного патента являются узкие функциональные возможности устройства для регистрации сигналов пульсовой волны и дыхательного цикла человека. К достоинствам можно отнести возможность определения типа апноэ и увеличение достоверности определения эпизодов апноэ во сне.

Поэтому в основу разрабатываемой полезной модели поставлена задача – увеличить достоверность определения эпизодов апноэ во сне, с возможностью самоконтроля пациента в домашних условиях.

Разработка и описание структурной схемы, проектируемой системы медицинского назначения

На рис.3 представлена структурная схема разрабатываемого устройства мониторинга кардиореспираторной деятельности (ЧСС и регистрация дыхание) пациента во время сна. Под регистрацией дыхания будет приниматься перепад давления воздуха в трубке при вдохе и выдохе пациента.

Устройство относится к медицинской технике, а именно к устройствам мониторинга кардиореспираторной системы (ЧСС и регистрация изменения давления воздуха при вдохе и выдохе) человека. Данное устройство может быть использовано главным образом для длительного мониторинга параметров дыхания и деятельности сердца человека во сне с целью обнаружения эпизодов апноэ как в клинических условиях, так и на дому.

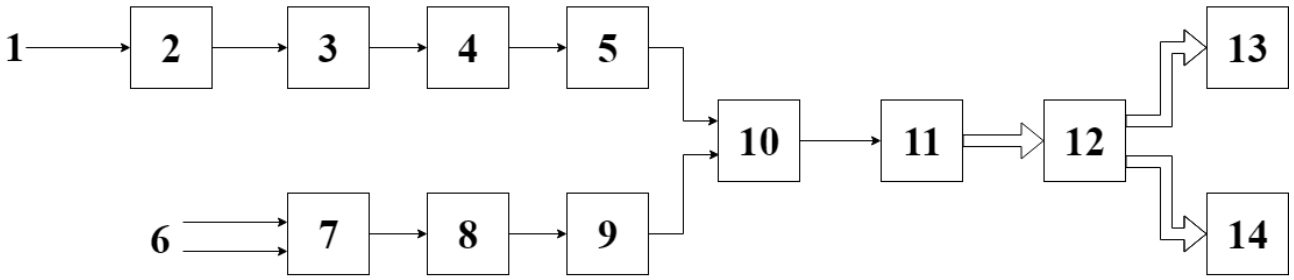


Рис.3 Структурная схема разрабатываемого устройства
1–трубка; 2–сужающее устройство; 3–датчик перепада давления; 4–усилитель сигнала датчика давления; 5–фильтр; 6–грудные электроды; 7–блок снятия ЭКГ; 8–усилитель сигнала, поступающего с блока ЭКГ; 9–фильтр; 10–мультиплексор; 11–аналого–цифровой преобразователь; 12–микроконтроллер; 13–звуковое (сигнальное) устройство; 14–индикатор.

Устройство для регистрации ночного апноэ работает следующим образом. Сигнал с электродов 6, зафиксированных на грудной клетке спящего пациента, содержит информацию в виде ЭКГ сигнала, которая выделяется, разделяется и усиливается (на выходе ЭКГ – усилителя 8). Затем фильтруется, фильтром 9 (ЭКГ с настройкой на снятие ЧСС), чтобы выделить полезную составляющую сигнала и оцифровать сигнал.

При протекании потока воздуха в суженном сечении трубки 1 часть потенциальной энергии давления переходит в кинетическую. Средняя скорость потока увеличивается, в результате чего в сужающем устройстве 2 создается перепад давления, величина которого зависит от расхода вещества. Перепад давления принимается датчиком перепада давления 3 и преобразуется в электрический сигнал, который необходимо усилить, произвести фильтрацию и подать на аналого–цифровой преобразователь для дальнейшей обработки.

Сигнал с выхода датчик измерения перепада давления вдыхаемого/выдыхаемого воздуха поступает на усилитель сигнала датчика давления 4, где происходит его усиление. Затем фильтруется фильтром 5.

С выходов фильтров 5 и 9 отфильтрованные и усиленные сигналы поступают в мультиплексор 10. С выхода мультиплексора сигналы попеременно поступают вход аналого–цифрового преобразователя 11, с выхода которого они передаются в

микроконтроллер 12. В оперативной памяти микроконтроллера происходит формирование двух числовых массивов данных: отсчетов регистрируемого кардио сигнала и отсчетов изменения давления вдыхаемого/выдыхаемого воздуха, а также выполнение необходимых логических и арифметических операций. Правильно запрограммируемый микроконтроллер на основе полученных данных реализует алгоритм регистрации эпизодов апноэ. Результат реализации данного устройства отображается на ЖК–индикаторе 14, путем выведения на экран количество приступов апноэ, произошедших во время сна биологического объекта.

Микроконтроллер вырабатывает сигнал на выходе в следующих случаях:

1) ЧСС составляет 30–40 уд/мин;
2) отсутствие сигнала дыхания, т.е длительность одного апноэ составляет 3-10 сек.

Могут так же возникнуть следующие случаи:

1)ЧСС вышла за допустимые пределы, например, меньше 30 или больше 220 уд/мин.;

2)отсутствие сигнала дыхания, т.е длительность одного апноэ – превысил 10 сек.;

3)сочетание обоих пунктов одновременно.

В случае возникновения одного из этих трех случаев с выхода микроконтроллера на вход звукового устройства 13 поступает управляющий сигнал, включающий сигнальный звук, в результате чего человек просыпается.

Таким образом, в работе проведен сбор патентных документов, анализ данных которых позволил выявить два наиболее информативных канала: канала регистрации дыхания биологического объекта и канала съема ЭКГ (а именно слежение за длительностью RR интервалов, для регистрации ЧСС). В результате чего, предложена эргономичная и комфортная система диагностики апноэ сна по этим двум биомедицинским сигналам. Предлагаемое устройство для регистрации ночного апноэ позволяет достоверно регистрировать ночное апноэ пациента в домашних условиях, с возможностью последующего самоконтроля пациента при одновременном упрощении эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Блоцкий А.А., Плужников М.С.* Феномен храпа и синдром обструктивного сонного апноэ. – СПб.: Спецлитература, 2002

2. Храп и синдром обструктивного апноэ сна/ Бузунов Р.В., Легейда И.В.// – Москва: 2010–82 с.

3. *Пономаренко В.И. и др*. Синхронизация сердцебиения и ритма регуляции сосудистого тонуса с дыханием //Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2004. – №. 8–9. – С. 40–51

4. Пат. 155990 РФ. Устройство регистрации эпизодов апноэ и определения его типа / А.С. Акулова, А.А. Федотов ,С.А. Акулов // Бюл. – 2015. – № 30.

OUTPATIENT SNA APNEA PREVENTION DEVICE

Gilyazova Alice

10kalounge@mail.ru

Supervisor: A. Berdnikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

The report addressed the task of developing a device for the most comfortable and informative monitoring of patient's sleep in order to identify episodes of sleep apnea. Analysis of the dynamics of the physiological indicators of the body during the manifestation and in the absence of sleep apnea allowed us to identify two diagnostically significant indicators: respiration, electrocardiogram (ECG). In the course of the work, a block diagram of an outpatient device for the prevention of sleep apnea attacks was developed, allowing simultaneous removal of two biomedical signals for the diagnosis of sleep apnea.

УДК 629.7.054.07

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИОННО-МЕТОЧНОГО ДАТЧИКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО УГЛА И ВОЗДУШНОЙ СКОРОСТИ

Денеев М.К.
deneev.marat@bk.ru
Научный руководитель: Ф.А. Ганеев, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Производится обработка результатов, полученных при экспериментальном исследовании ионно-меточного датчика аэродинамического угла и воздушной скорости в аэродинамической трубе. Проводится оценка стабильности показаний, оценка угловой характеристики датчика. Получены графики погрешности углов и зависимости скорости, измеренной датчиком от заданного угла.

Для проведения экспериментальных исследований был взят ионно-меточный датчик угла атаки и скорости МДУС-1 КИВШ.402162.027.

Датчик предназначен для измерения местных углов атаки (скольжения), измерения скорости воздушного потока в месте установки и выдачи информации о текущих значениях этих параметров в систему.

Цель эксперимента:

1. Оценка стабильности показаний и точностных характеристик.
2. Определение характеристик датчика при различных положениях относительно обтекателя.

Испытания проводились на базе КАИ в трубе аэродинамической эталонной АТ Т-3К с использованием штатного оборудования для измерения скорости воздушного потока, полного и статического давлений. При испытаниях использовалась оптическая делительная головка ОДГ-60.

Методика аэродинамических испытаний датчика МДУС-1

Рядом с аэродинамической трубой устанавливалась делительная головка, в которую закреплялся металлический стакан со штифтами. Датчик устанавливался на штифты стакана и закреплялся четырьмя винтами. Заподлицо с датчиком устанавливался обтекатель.

Оценка стабильности показаний датчика

Устанавливался скоростной напор в трубе 70 км/ч. Включался датчик, показания записывались в файл в течение 15 мин, положение датчика относительно набегающего потока при этом не менялось.

Средняя скорость, измеренная датчиком составила Vср = 77,13 км/ч, средний угол αср = - 1,9°.

Максимальная скорость составила Vmax = 78,66 км/ч, максимальный угол αmax = -1,33°.

Минимальная скорость составила Vmin = 75,25 км/ч, минимальный угол αmin = -2,45°.

Нестабильность датчика по углу не превышает ±0,57 °.

Нестабильность датчика по скорости не превышает ±1,88 км/ч.

Оценка угловой характеристики датчика

Задавался скоростной напор в трубе 70 км/ч. На делительной головке устанавливался угол 50°. В программе задавалось количество выборок 100. Затем поворотом ручки на делительной головке задавались значения углов согласно таблице 1 и производились замеры угла и скорости, измеренных датчиком МДУС-1, на каждом угле. Испытание повторялось два раза. Результаты записывались в таблицу 1.

Таблица 1

Заданный угол, °	Измеренный угол 1, °	Измеренный угол 2, °	Погрешность угла 1, °	Погрешность угла 2, °	Измеренная скорость v1, км/ч	Измеренная скорость v2, км/ч
50	49,46	49,69	-0,54	-0,31	77,36	76,97
47	46,7	46,76	-0,3	-0,24	78,2	77,85
44	43,53	43,29	-0,47	-0,71	77,88	77,75
41	40,21	40,28	-0,79	-0,72	77,31	76,91
38	37,28	37,35	-0,72	-0,65	77,12	76,86
35	34,47	34,43	-0,53	-0,57	76,71	76,72
32	31,09	31,18	-0,91	-0,82	76,43	76,57
29	28,05	28	-0,95	-1	76,36	75,95
26	24,84	24,73	-1,16	-1,27	76,16	75,61
23	21,72	21,69	-1,28	-1,31	76,09	75,4
20	18,46	18,49	-1,54	-1,51	75,92	75,52
17	15,45	15,26	-1,55	-1,74	76,04	75,75
14	11,94	12,08	-2,06	-1,92	76,61	75,72
11	8,94	8,97	-2,06	-2,03	77,42	77,15
8	5,93	6,02	-2,07	-1,98	78,05	77,68
5	3,11	3,16	-1,89	-1,84	78,9	78,65
2	0,22	0,27	-1,78	-1,73	77,95	77,9
0	-2,06	-1,81	-2,06	-1,81	77,61	76,9
-3	-5,04	-4,89	-2,04	-1,89	76,57	77,14
-6	-8,06	-8,02	-2,06	-2,02	76,81	76,51
-9	-11,24	-11,06	-2,24	-2,06	76,73	76,95
-12	-14,03	-14,17	-2,03	-2,17	76,52	76,28
-15	-17,33	-17,24	-2,33	-2,24	76,84	77,16
-18	-20,39	-20,18	-2,39	-2,18	76,72	76,47
-21	-23,46	-23,21	-2,46	-2,21	77,91	77,55
-24	-26,31	-26,21	-2,31	-2,21	79,11	79,29
-27	-29,47	-29,44	-2,47	-2,44	79,91	79,75
-30	-32,1	-31,96	-2,1	-1,96	79,96	79,88
-33	-34,96	-35,16	-1,96	-2,16	77,42	78,11
-36	-37,9	-38,18	-1,9	-2,18	76,65	76,72
-39	-41,44	-41,17	-2,44	-2,17	76,67	76,24
-42	-44,38	-44,45	-2,38	-2,45	77,72	78,11
-45	-47,22	-47,08	-2,22	-2,08	80,02	79,55
-48	-49,68	-49,81	-1,68	-1,81	80,95	80,92
-51	-52,94	-53,2	-1,94	-2,2	81,05	80,87
-54	-56,07	-56,05	-2,07	-2,05	80,41	80,74
-57	-58,89	-59,05	-1,89	-2,05	79,9	80,51

По полученным данным таблицы 1 построены график зависимости погрешностей углов от заданных углов (рис. 1) и график зависимости скоростей от заданных углов (рис. 2).

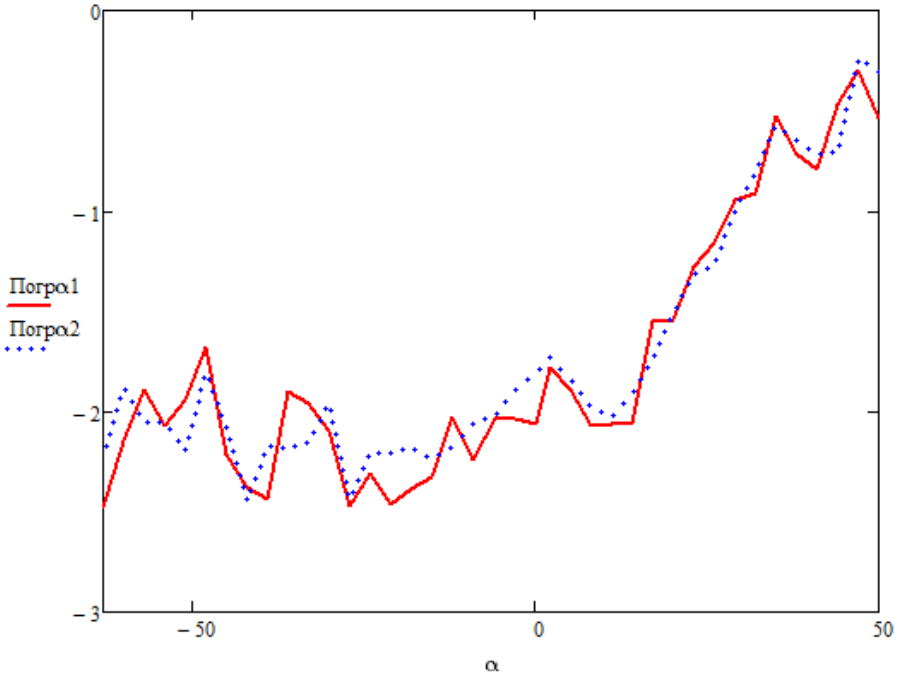


Рис. 1. Погрешности углов на скорости 70 км/ч.

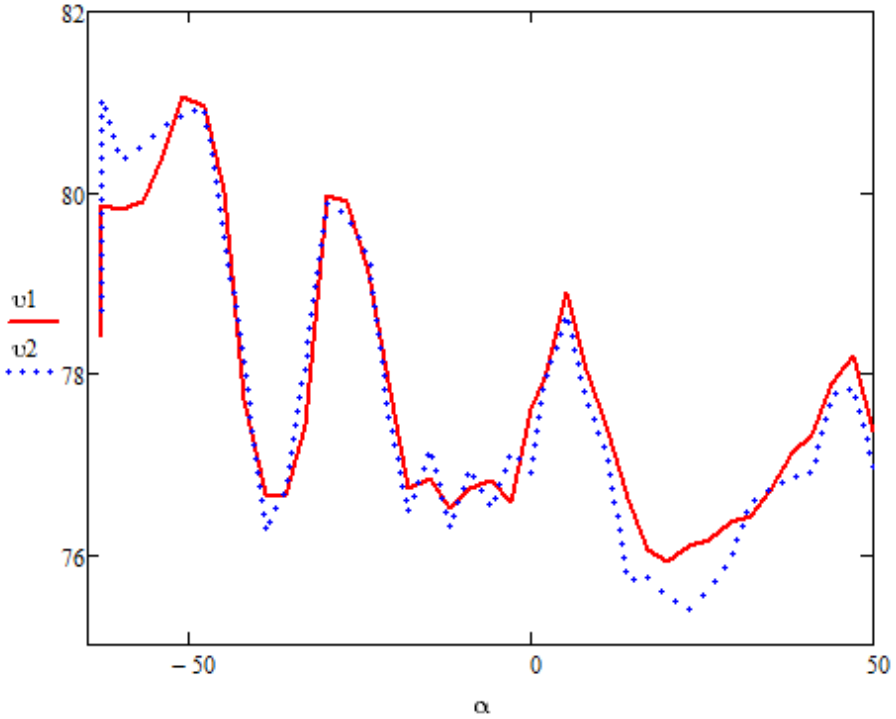


Рис. 2. Зависимость скорости, измеренной датчиком от заданного угла

Результаты экспериментальных исследований:

1. Вследствие установки обтекателя конусообразной формы происходило увеличение местной скорости потока в рабочей области датчика. Поэтому датчик измерял большую скорость, чем задано в аэродинамической трубе;

2. Разность показаний при прямом и обратном ходе не превышает по углу $\Delta\alpha = \pm\ 0{,}28\ °$, по скорости $\Delta V = \pm 1{,}2$ км/ч;

3. Изменение погрешности по скорости относительно погрешности на нулевом угле во всем диапазоне находится в интервале от минус 1,8 км/ч до 3 км/ч;

4. Изменение погрешности по углу относительно погрешности на нулевом угле во всем диапазоне находится в интервале от минус 0,6 ° до 1,65 °.

Для уменьшения погрешностей измерения углов и скоростей необходимо произвести корректировку ПО путем введения поправочных коэффициентов, учитывающих влияние выступания электродов разрядника датчика на воздушный поток и смещение электродов разрядника на 1,5 мм относительно оси симметрии датчика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Уразбахтин И.Р., Ганеев Ф.А.* Структура и алгоритмы преобразования ионно-меточного датчика аэродинамических параметров самолёта// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. №10. С.132-145.

2. Патент 2445634 РФ, МПК G01P 5/14. Меточный датчик аэродинамического угла и воздушной скорости / Ф.А. Ганеев, В.М. Солдаткин, И.Р. Уразбахтин, Н.Н. Макаров, В.И. Кожевников. Заявл. 05.05.2010. Опубл. 20.03.2012. Бюл.№8.

PROCESSING OF THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE ION-MARK SENSOR OF AERODYNAMIC ANGLE AND AIR VELOCITY

Deneev M.

deneev.marat@bk.ru

Supervisor: F. Ganeev, candidate of technical sciences, associate professor

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

The results obtained during the experimental research of the ion-mark sensor of aerodynamic angle and air velocity in a wind tunnel are processed. The stability of the readings and the angular characteristics of the sensor are evaluated. Graphs of angular error and dependence of the speed measured by the sensor on a given angle are obtained.

УДК 629.7.054.44

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО УГЛА И ИСТИННОЙ ВОЗДУШНОЙ СКОРОСТИ ВИХРЕВОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ ДОЗВУКОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА*

Ефремова Е.С., Мифтахов Б.И.

soldatkina1991@bk.ru

Научный руководитель: В.М. Солдаткин, д.т.н., профессор

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Рассматриваются достоинства и особенности построения вихревой системы воздушных сигналов дозвукового летательного аппарата. Рассматривается методика и результаты имитационного моделирования процесса формирования частотно-временных первичных информативных сигналов при обтекании клиновидной пирамиды с использованием программной среды SolidWorks с дополнением Flow Simulation.

Как показывает анализ [1, 2], современные средства измерения высотно-скоростных параметров полета самолета и других летательных аппаратов построены на основе аэрометрического и аэродинамического методов, для реализации которых на их борту устанавливают приемники воздушных давлений и температуры торможения, датчики углов атаки и скольжения. При этом восприятие, выделение и преобразование первичных амплитудных информативных сигналов указанных приемников и датчиков аэрометрической и аэродинамической информации неизбежно связано с аддитивными и мультипликативными погрешностями измерения воздушных сигналов [3].

Существенное снижение потери информации при восприятии, выделении, преобразовании, передаче и обработке частотно-временных информативных сигналов, формируемых одним неподвижным многофункциональным приемником, определяют

перспективность использования для измерения высотно-скоростных параметров полета ЛА вихревого метода, связанного с процессом вихреобразования при обтекании клиновидных тел [4].

Для формирования частотно-временных первичных информативных сигналов предлагается использовать вихревой датчик аэродинамического угла α и истинной воздушной скорости $V_в$, приемник потока которого выполнен в виде двух клиновидных пирамид, наибольшие грани которых расположены встречно набегающему воздушному потоку под углом $2\varphi_0$ [5]. Для устранения влияния скоса потока в другой плоскости на верхних и нижних основаниях клиновидных пирамид устанавливаются струевыпрямители в виде тонких дисков, выделяющих в набегающем воздушном потоке зоны вихреобразования клиновидных пирамид. По регистрируемым частотам вихреобразования за клиновидными пирамидами по разработанным алгоритмам [5] в вычислителе определяются измеряемый аэродинамический угол α и истинная воздушная скорость движения самолета относительно окружающей воздушной среды.

Для определения других воздушных сигналов, определяющих движение самолета относительно окружающей воздушной среды на внешней поверхности верхнего струевыпрямителя установлено отверстие-приемник статического давления набегающего воздушного потока, которое с помощью пневмопровода подключен к входу датчика абсолютного давления с частотным или цифровым выходным сигналом. Выход датчика абсолютного давления подключен к входу вычислителя на выходе, которого по разработанным алгоритмам определяются все воздушные сигналы самолета [6].

Важным этапом разработки вихревой системы воздушных сигналов дозвукового ЛА является имитационное моделирование процесса вихреобразования и формирования частотно-временных первичных информативных сигналов вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости.

Как показывает анализ при имитационном моделировании газодинамических процессов широкими возможностями, и высокоуровневой функциональности и простотой пользования обладает программный комплекс SolidWorks Flow Simulation [7], что определил его использование для исследования процесса вихреобразования за клиновидной пирамидой.

На первом этапе имитационного моделирования необходимо построить нестационарную газодинамическую задачу в программной среде SolidWorks Flow Simulation.

Решение нестационарной задачи определения характеристик вихревого канала системы воздушных сигналов дозвукового самолета с частотно-временными информативными сигналами начинается с построения 3Д модели генератора вихрей в среде SolidWorks, представлено на рисунке 1.

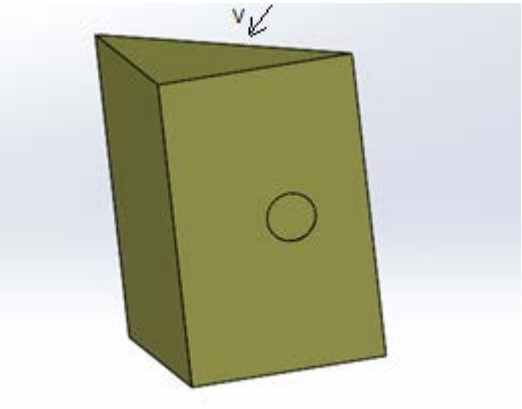


Рис. 1. Генератор вихрей

* Работа выполнена по гранту РФФИ №18-38-00094

Генератор вихрей представляет собой клиновидную пирамиду, в основание которого лежит равнобедренный треугольник со сторонами 10x10x15 мм и высотой 16 мм. Для регистрации частот вихреобразования, на одной из задней граней выделена поверхность, которая представляет собой окружность, на которой регистрируются пульсация давления за клиновидной пирамидой.

На начальном этапе моделирования необходимо запустить мастер проекта и задать все необходимые параметры имитационной модели. Рабочая панель дополнения SolidWorks Flow Simulation представлена на рисунке 2.

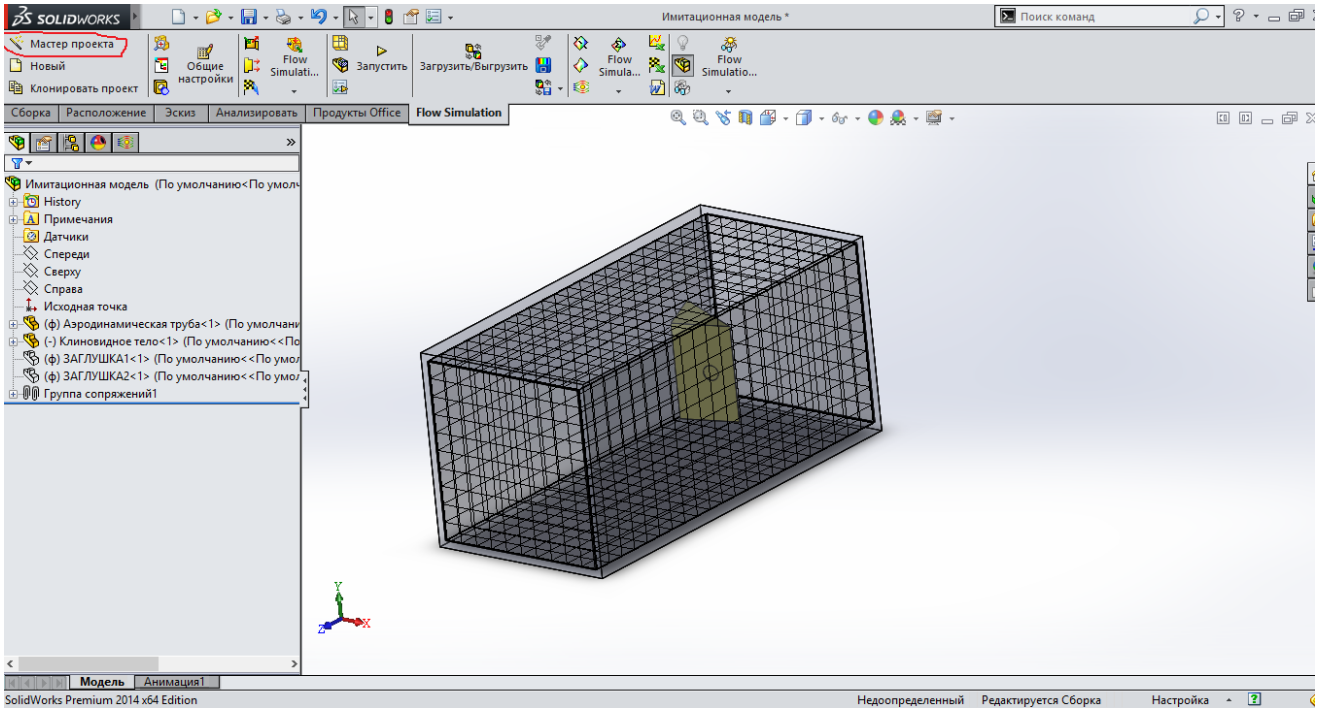


Рис. 2. Рабочая панель дополнения SolidWorks Flow Simulation

При активации мастера проекта появляется рабочее окно. В данном окне необходимо задать название проекта, затем выбрать единицы измерения в системе СИ, задать внутреннюю нестационарную задачу с общем временем решения 0,6 с. Далее необходимо задать текущую среду – воздух и задать уровень разрешения глобальной сетки, равной 7.

После задания общих настроек проекта, необходимо задать граничные условия для проекта: скорость на выходе и статическое давление. Для определения частот вихреобразований необходимо задать положение поверхности для восприятия статического давления статического давления.

Для повышения точности моделирования необходимо задать локальную начальную сетку, параметрами, представленными на рисунке 3.

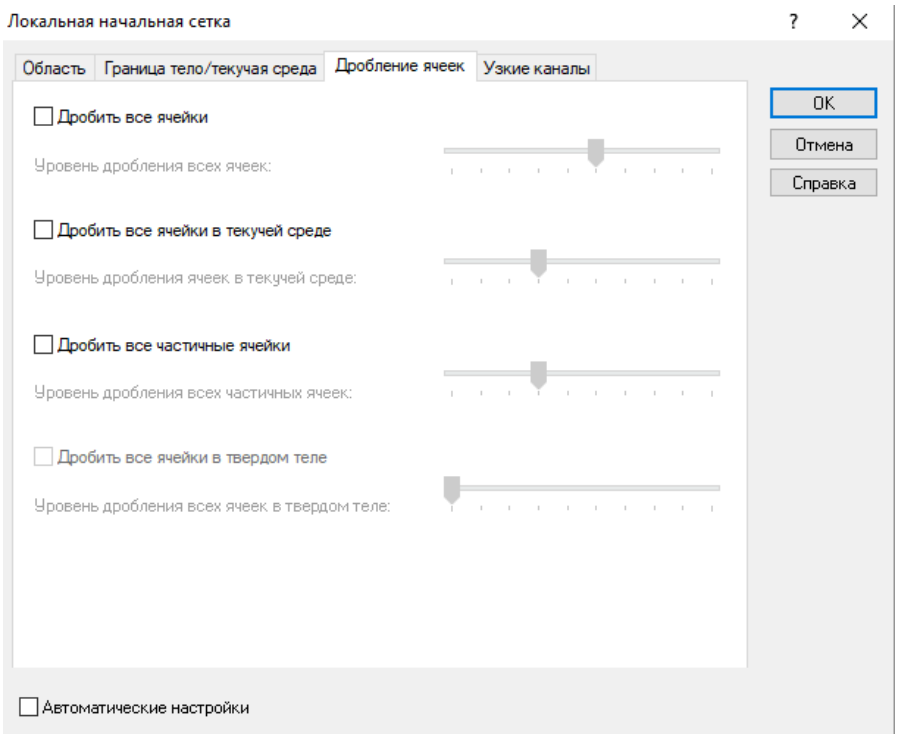


Рис. 3. Параметры локальной начальной сетки

Моделирование вихревого канала системы воздушных сигналов дозвукового самолета с частотно-временными первичными информативными сигналами проводилось для значений скорости V воздушного потока: 5 м/с, 50 м/с, 100 м/с, 200 м/с, 300 м/с; и для значений угла α = –30°, –15°, 0°, 15°, 30°.

На рисунке 4 представлена картина обтекания клиновидной пирамиды при скорости V = 5 м/с и угле направления воздушного потока α = –15°.

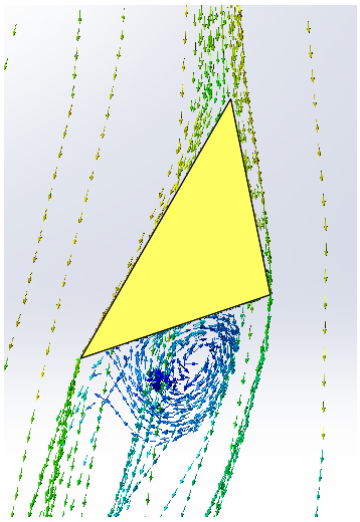


Рис.4. Картина процесса обтекания клиновидной пирамиды при скорости V = 5 м/с и угле направления воздушного потока α = –15°

На рисунке 5 представлен график изменения давления за клиновидной пирамидой при скорости V = 5 м/с и угле направления воздушного потока α = –15°.

Из рисунка 5 видно, что частота пульсаций при скорости воздушного потока V = 5 м/с и угле α = –15° составляет $f_{5\text{м/с}}^{-15^\circ} \approx 161$ Гц.

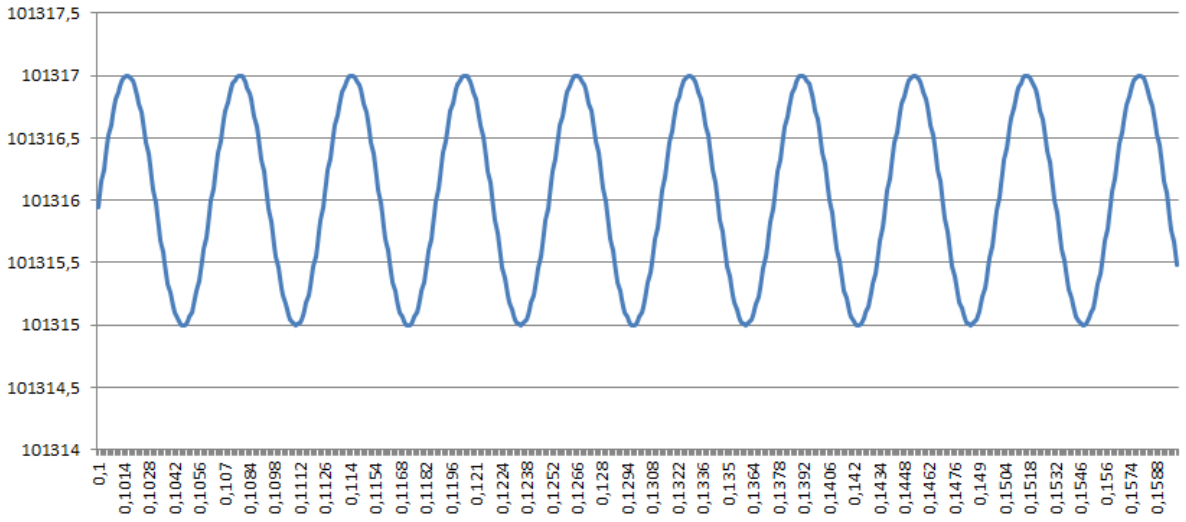


Рис. 5. График изменения давления за клиновидной пирамидой при скорости V = 5 м/с и угле направления воздушного потока α = –15°

По результатам моделирования при других скоростях V и углах α значения частот вихреобразования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Угол α°	Скорость $V_в$ м/с				
	5 м/с	50 м/с	100 м/с	200 м/с	300 м/с
–30	318 Гц	3 180 Гц	6 365 Гц	12 719 Гц	19 095 Гц
–15	161 Гц	1 615 Гц	3 230 Гц	6 460 Гц	9 690 Гц
0	114 Гц	1 145 Гц	2 305 Гц	4 585 Гц	6 890 Гц
15	95 Гц	932 Гц	1 870 Гц	3 730 Гц	5 595 Гц
30	85 Гц	845 Гц	1 689 Гц	3 375 Гц	5065 Гц

На рис. 6 представлен график зависимости частоты вихреобразования за клиновидным телом от угла направления воздушного потока при скорости воздушного потока V = 100 м/с.

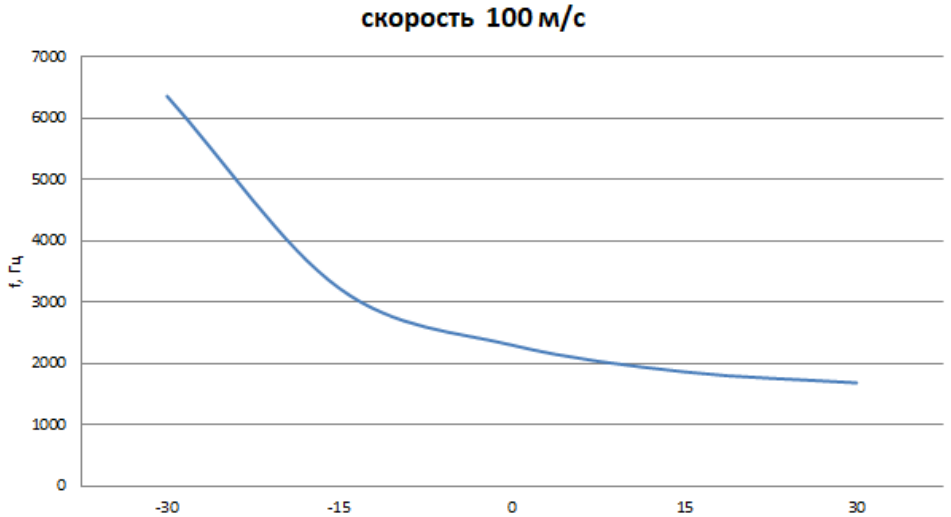


Рис. 6. График зависимости частоты вихреобразования за клиновидной пирамидой от угла направления воздушного потока при скорости воздушного потока V = 100 м/с

Воспользуемся алгоритмом для вычисления расчетных значений частоты вихреобразования за клиновидной пирамидой [2]:

$$f = \sqrt{2}\frac{Sh}{l}\frac{V_в}{\cos\alpha + \sin\alpha}, \quad (1)$$

где Sh – число (безразмерный коэффициент) Струхаля 0,165; $V_в$ – скорость воздушного потока; l – характерный размер клиновидной пирамиды, равный $10 \cdot 10^{-3}$м; при φ_0=45°.

В таблице 2 представлены расчетные значения частот вихреобразований для скоростей воздушного потока V = 5 м/с, 50 м/с, 100 м/с, 200 м/с, 300 м/с и углов направления воздушного потока α = –30°, –15°, 0°, 15°, 30°.

Таблица 2

Угол α°	Скорость $V_в$ м/с				
	5 м/с	50 м/с	100 м/с	200 м/с	300 м/с
-30	324 Гц	3 240 Гц	6 482 Гц	12 963 Гц	19 445 Гц
-15	164 Гц	1 643 Гц	3 286 Гц	6 573 Гц	9 860 Гц
0	116 Гц	1 166 Гц	2 333 Гц	4 667 Гц	7 000 Гц
15	95 Гц	948 Гц	1 897 Гц	3 794 Гц	5 691 Гц
30	85 Гц	858 Гц	1 715 Гц	3 431 Гц	5 147 Гц

По результатам моделирования и расчетным значениям, величина относительной погрешности моделирования не превышает 2%, что обусловлено вычислительными возможностями программной среды SolidWorks Flow Simulation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Браславский Д.А.* Приборы и датчики летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1970. 392 с.

2. *Боднер В.А.* Приборы первичной информации. М.: Машиностроение, 1981. 344 с.

3. *Солдаткин В.М.* Авиационные приборы, измерительно-вычислительные системы и комплексы: Принципы построения, алгоритмы обработки информации, характеристики и погрешности: Учебное пособие / *В.М. Солдаткин, Ф.А. Ганеев, В.В. Солдаткин, А.В. Никитин*; под ред. докт. техн. наук, проф. В.М. Солдаткина. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014. 526 с.

4. *Киясбейли А.Ш., Перельштейн М.Е.* Вихревые измерительные приборы. М.: Машиностроение, 1972. 152с.

5. *Солдаткин В.М., Солдаткина Е.С.* Вихревой датчик аэродинамического угла и истинной воздушной скорости с расширенными функциональными возможностями // Известия вузов. Авиационная техника. 2014. - №4. С. 54–56.

6. *Ефремова Е.С., Мифтахов Б.И.* Особенности построения, алгоритмы и погрешности вихревой системы воздушных сигналов дозвукового самолета// Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2018. №2. С.87–93.

7. *Алямовский А.А.* Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2010. 464 с.

IMITATION MODELING OF AERODYNAMIC CORN CANALS AND TRUE AIR VELOCITY OF A VIRING SYSTEM OF AIR SIGNALS OF THE AUDIO CHANNELING UNIT

Efremova E., Miftakhov B.

soldatkina1991@bk.ru

Supervisor: V. Soldatkin, Doctor of Technical Sciences, Professor

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

The advantages and features of the construction of a vortex system of air signal subsonic aircraft are considered. The technique and results of simulation modeling of the formation of time-frequency primary information signals in a flow around a wedge-shaped pyramid using the SolidWorks Flow Simulation software environment are considered.

УДК 629.7.054.44

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛА СТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ВИХРЕВОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ ДОЗВУКОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА*

Ефремова Е.С., Калинин К.В.
soldatkina1991@bk.ru
Научный руководитель: В.М. Солдаткин, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Рассматриваются достоинства и особенности построения вихревой системы воздушных сигналов дозвукового летательного аппарата. Рассматривается методика и результаты статического давления вихревой системы воздушных сигналов дозвукового летательного аппарата с использованием программной среды SOLIDWORKS Flow Simulation.

Как показывает анализ [1, 2], современные средства измерения высотно-скоростных параметров полета самолета и других летательных аппаратов построены на основе аэрометрического и аэродинамического методов, для реализации которых на их борту устанавливают приемники давлений и температуры торможения, датчики углов атаки и скольжения. При этом восприятие, выделение и преобразование первичных амплитудных информативных сигналов указанных приемников и датчиков аэрометрической и аэродинамической информации неизбежно связано с аддитивными и мультипликативными погрешностями измерения измеряемых параметров [3].

Существенное снижение потери информации при восприятии, выделении, преобразовании, передаче и обработке частотно-временных информативных сигналов, формируемых одним неподвижным многофункциональным приемником, определяют перспективность использования для измерения высотно-скоростных параметров полета самолета вихревого метода, связанного с процессом вихреобразования при обтекании клиновидных тел [4].

Для формирования частотно-временных первичных информативных сигналов предлагается использовать вихревой датчик аэродинамического угла α и истинной воздушной скорости V_B , приемник потока выполнен в виде двух клиновидных пирамид, наибольшие грани которых расположены встречно набегающему воздушному потоку под углом $2\varphi_0$ [5]. Для устранения влияния скоса потока в другой плоскости на верхних и нижних основаниях клиновидных пирамид устанавливаются струевыпрямители в виде тонких дисков, выделяющих в набегающем воздушном потоке зоны вихреобразования клиновидных пирамид. По регистрируемым частотам вихреобразования за клиновидными пирамидами по разработанным алгоритмам [5] в вычислителе определяются измеряемый аэродинамический угол α и истинная воздушная скорость движения самолета относительно окружающей воздушной среды.

Для определения других воздушных сигналов, определяющих движение самолета относительно окружающей воздушной среды на внешней поверхности верхнего струевыпрямителя установлено отверстие-приемник статического давления набегающего воздушного потока, которое с помощью пневмопровода подключен ко входу датчика абсолютного давления с частотным или цифровым выходным сигналом. Выход датчика абсолютного давления подключен ко входу вычислителя на выходе которого по разработанным алгоритмам определяются все воздушные сигналы самолета [6].

Один из важных этапов разработки вихревой системы воздушных сигналов дозвукового самолета является имитационное моделирование канала статического давления.

Как показывает анализ при имитационном моделировании газодинамических процессов широкими возможностями, и высокоуровневой функциональности и простотой пользования

* Работа выполнена по гранту РФФИ №18-38-00094

обладает программный комплекс SOLIDWORKS Flow Simulation [7], что определил его использование для исследования статического давления.

В первую очередь необходимо построить стационарную газодинамическую задачу в программной среде SOLIDWORKS Flow Simulation.

Решение стационарнй задачи начинается с построения 3Д модели струевыпрямителя в среде SolidWorks, представлено на рисунке 1.

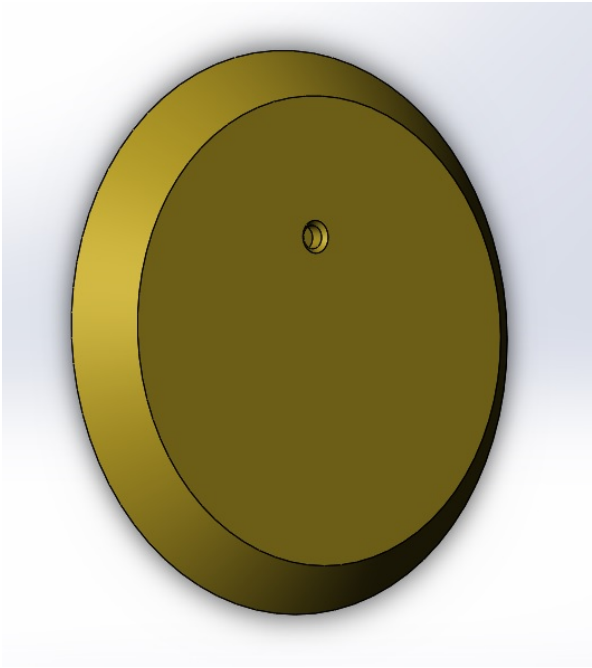


Рис. 1. Струевыпрямитель

Струевыпрямитель представляет собой диск диаметром 60 мм и высотой 5 мм. Для забора статического давления на поверхности струевыпрямителя имеется отверстие диаметром 2,5 мм с фаской.

На начальном этапе моделирования необходимо запустить мастер проекта и задать все необходимые параметры имитационной модели. Рабочая панель дополнения SolidWorks Flow Simulation представлена на рисунке 2.

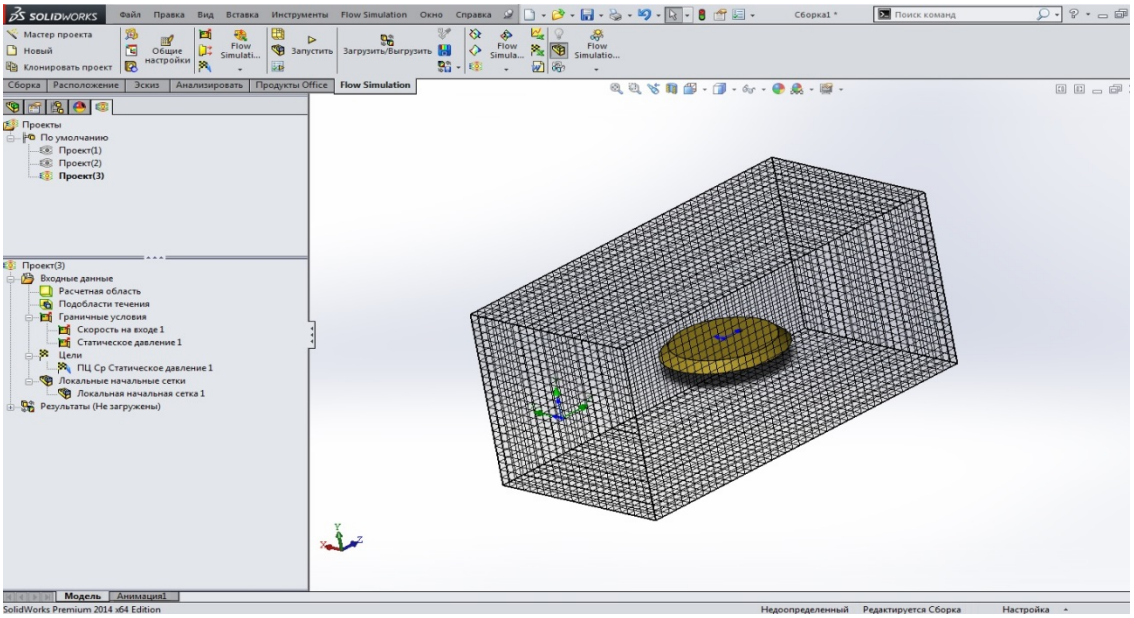


Рис. 2. Рабочая панель дополнения Solid Works Flow Simulation

При активации мастера проекта всплывает рабочее окно. В данном окне необходимо задать название проекта, затем выбрать единицы измерения в системе СИ, необходимо задать стационарную задачу. Далее необходимо задать текущую среду – воздух и задать уровень разрешения глобальной сетки равной 7.

После задания общих настроек проекта, необходимо задать граничные условия для проекта: скорость на выходе и статическое давление. Для определения статического давления необходимо задать поверхностные цели.

Для повышения точности моделирования необходимо задать локальную начальную сетку, параметрами, представленными на рисунке 3.

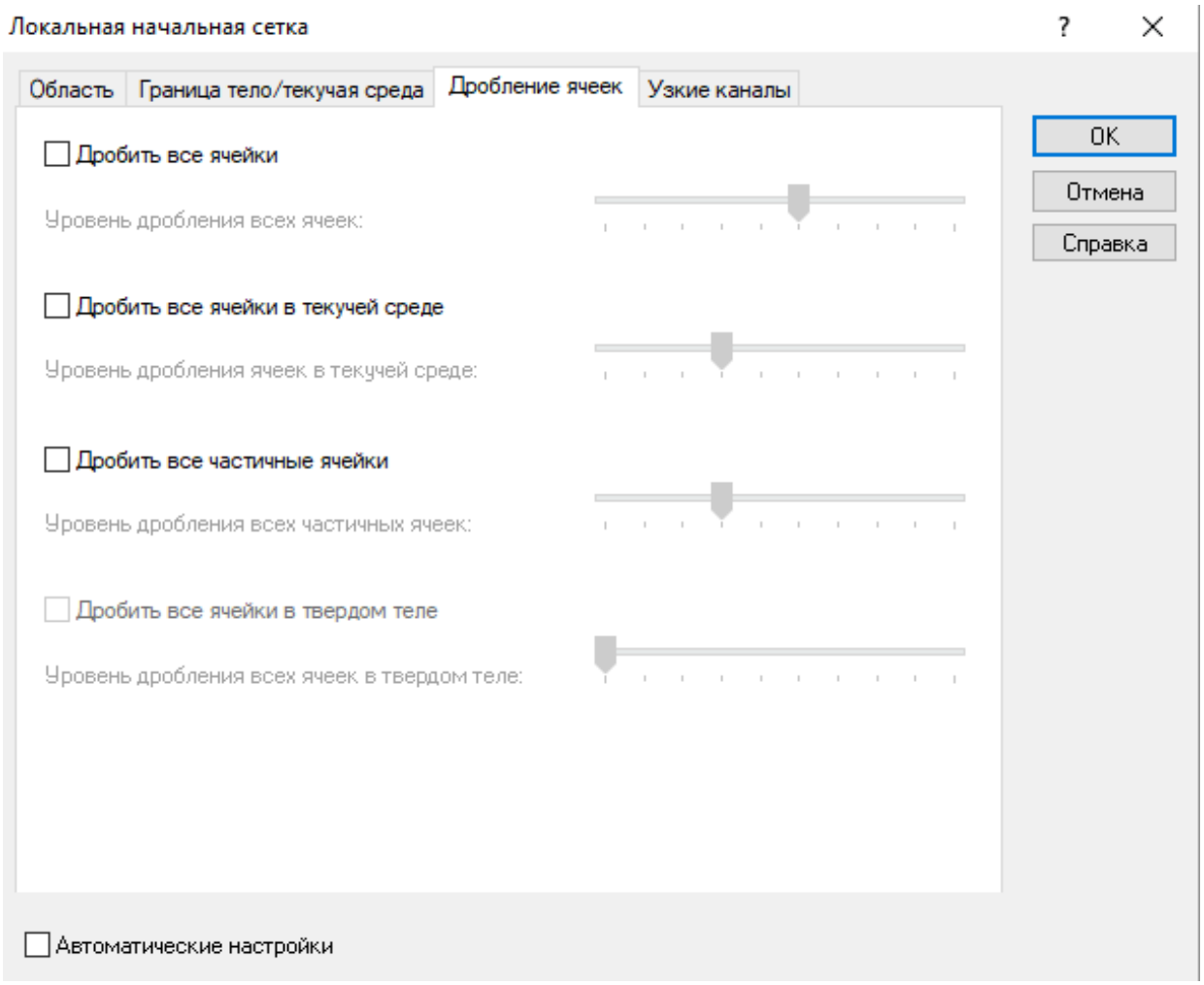


Рис. 3. Параметры локальной начальной сетки

Моделирование канала статического давления системы воздушных сигналов дозвукового самолета с частотно-временными первичными информативными сигналами проводилось для значений скорости V воздушного потока: 5 м/с, 50 м/с, 100 м/с, 200 м/с; и для значений угла α = -15°,-5°,0°,5°,15°.

На рисунке 4 представлены траектория потока и картина на поверхности, получаемые при скорости $V_в$ = 50 м/с и угле воздушного потока α = 0°.

На рисунке 5 представлен график зависимости статического давления от времени при скорости $V_в$ = 50 м/с и угле воздушного потока α = 0°.

Из рисунка 5 видно, что погрешность статического давления от нормального (101325 Па) не превышает 0,3%.

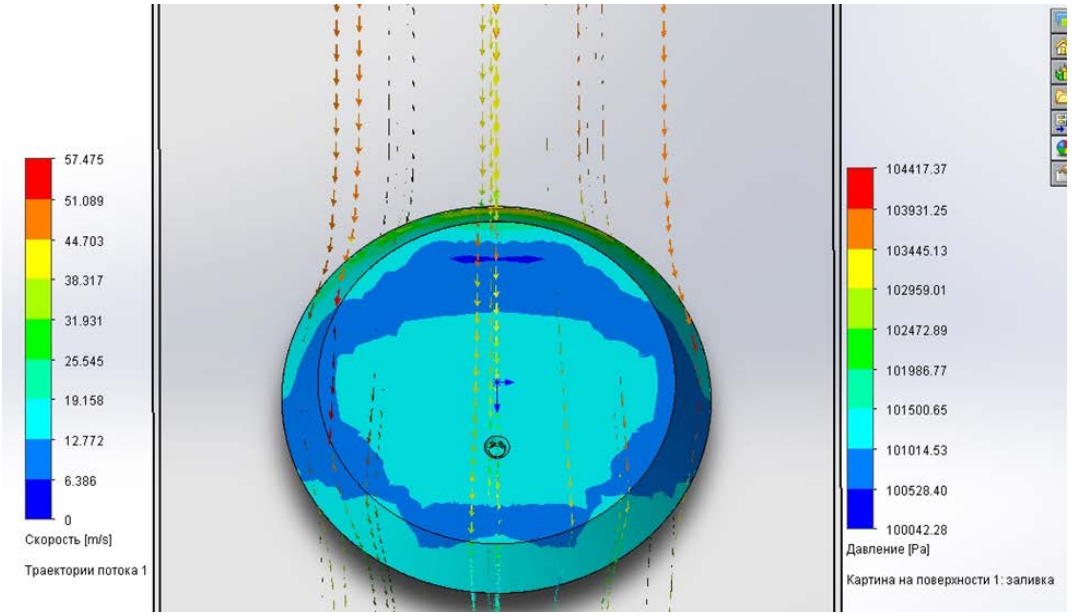


Рис.4. Траектория потока и картина на поверхности, получаемые при скорости $V_в$ = 50 м/с и угле воздушного потока α = 0°

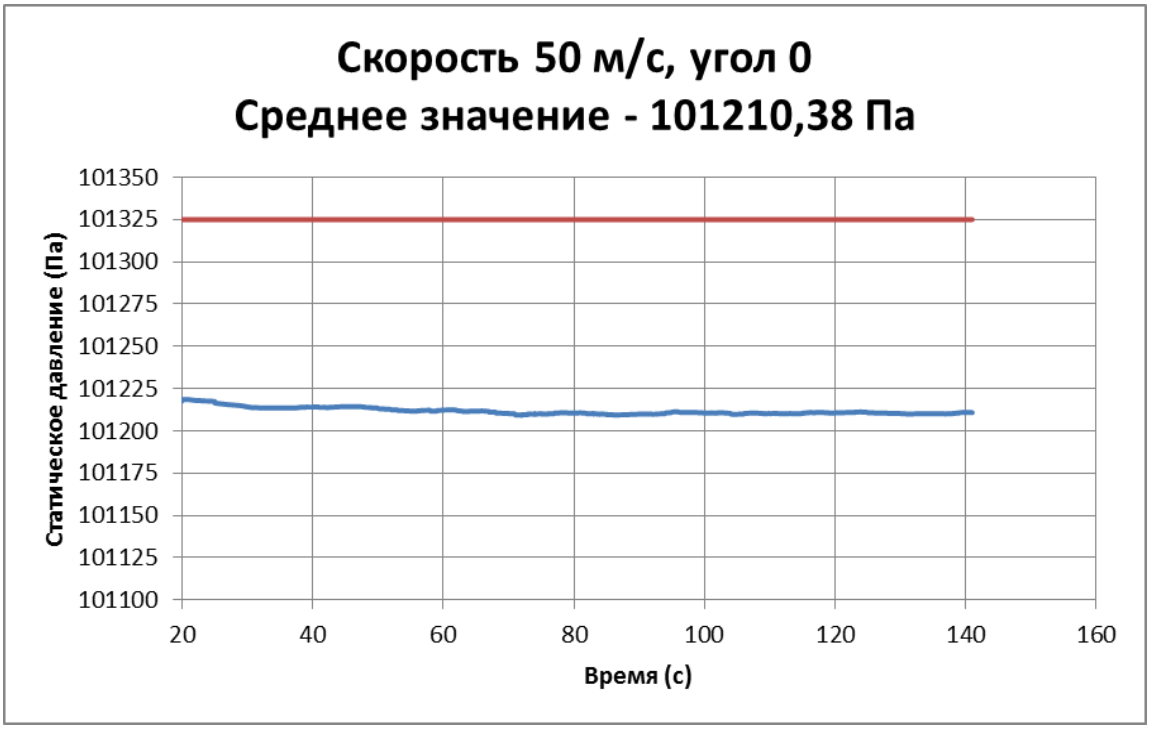


Рис. 5. График зависимости статического давления от времени при скорости $V_в$ = 50 м/с и угле воздушного потока α = 0°.

По результатам моделирования при других скоростях V и углах α значения статического давления представлены в таблице 1.

Таблица 1

Угол α°	Скорость $V_в$ м/с			
	5 м/с	50 м/с	100 м/с	200 м/с
-15	101322 Па	101451 Па	101806 Па	103311 Па
-5	101326 Па	101513 Па	102037 Па	103582 Па
0	101323 Па	101210 Па	100844 Па	98890 Па
5	101323 Па	101167 Па	100646 Па	97959 Па
15	101322 Па	101170 Па	100851 Па	97416 Па

Также был промоделирован струевыпрямитель без фаски, результаты статического давления представлены в таблице 2.

Таблица 2

Угол α°	Скорость $V_в$ м/с			
	5 м/с	50 м/с	100 м/с	200 м/с
-15	101326 Па	101535 Па	102153 Па	104937 Па
-5	101330 Па	101891 Па	103530 Па	109717 Па
0	101323 Па	101199 Па	100795 Па	98672 Па
5	101323 Па	101138 Па	100545 Па	97839 Па
15	101322 Па	101171 Па	100849 Па	97329 Па

По результатам таблиц можно сделать вывод, что струевыпрямитель, у которого отверстие для забора статического давления выполнено с фаской, имеет меньшую погрешность, чем без нее. Поэтому приоритетнее строить струевыпрямитель с отверстием для забора статического давления с фаской.

На рис. 6 представлен график зависимости статического давления от скорости воздушного потока при угле воздушного потока α = 0°.

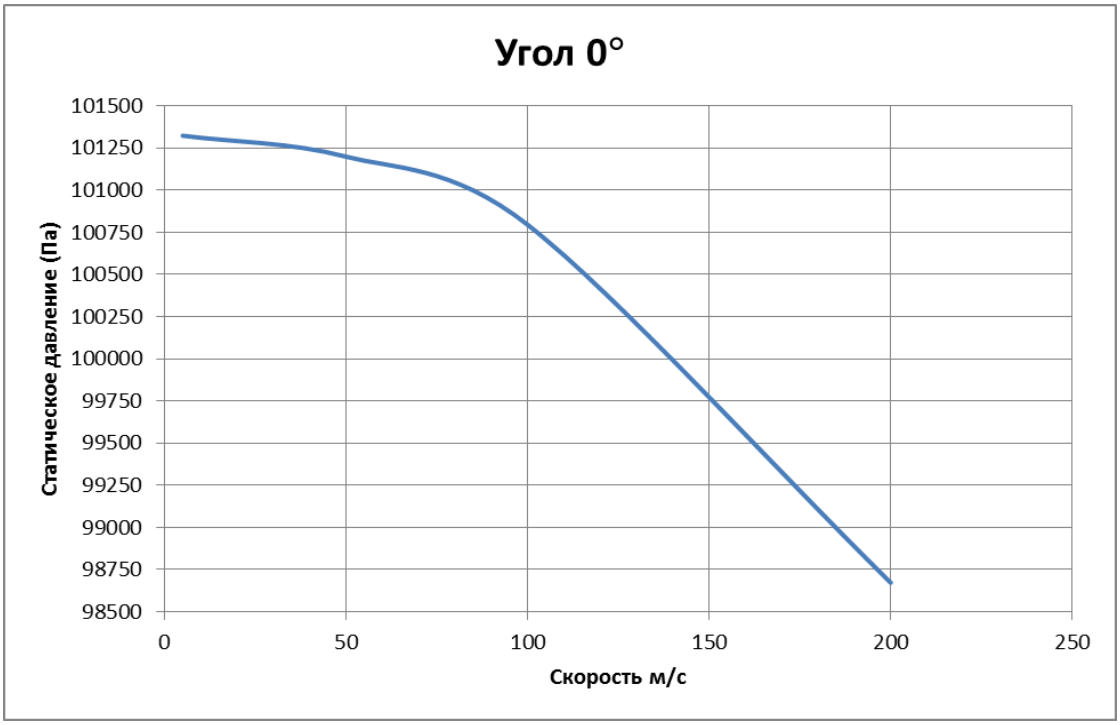


Рис. 6. График зависимости статического давления от скорости воздушного потока при угле воздушного потока α = 0°.

По результатам моделирования, величина относительной погрешности моделирования не превышает 4 %, что обусловлено вычислительными возможностями программной среды SOLIDWORKS Flow Simulation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Браславский Д.А.* Приборы и датчики летательных аппаратов.М.: Машиностроение, 1970. 392 с.

2. *Боднер В.А.* Приборы первичной информации. М.: Машиностроение, 1981. 344 с.

3. *Солдаткин В.М.* Авиационные приборы, измерительно-вычислительные системы и комплексы: Принципы построения, алгоритмы обработки информации, характеристики и погрешности: Учебное пособие / *В.М. Солдаткин, Ф.А. Ганеев, В.В. Солдаткин, А.В. Никитин*; под ред. докт. техн. наук, проф. В.М. Солдаткина. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014. 526 с.

4. *Киясбейли А.Ш., Перельштейн М.Е.* Вихревые измерительные приборы. М.: Машиностроение, 1972. 152с.

5. *Солдаткин В.М., Солдаткина Е.С.* Вихревой датчик аэродинамического угла и истинной воздушной скорости с расширенными функциональными возможностями // Известия вузов. Авиационная техника. 2014. - №4. С. 54-56.

6. *Ефремова Е.С., Мифтахов Б.И.* Особенности построения, алгоритмы и погрешности вихревой системы воздушных сигналов дозвукового самолета// Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2018. №2. С.87-93.

7. *Алямовский А.А.* Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2010. 464 с.

IMITATION MODELING OF THE CHANNEL OF THE STATIC PRESSURE OF THE VORTEX OF THE AIR SIGNAL SYSTEM OF THE SURFACE AIRCRAFT

Efremova E., Kalinin K.

soldatkina1991@bk.ru

Supervisor: V. Soldatkin, Doctor of Technical Sciences, Professor

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

The advantages and features of the construction of a vortex system of air signals of a subsonic aircraft are considered. The technique and results of static pressure of the vortex system of air signals of a subsonic aircraft are considered using the SOLIDWORKS Flow Simulation software environment.

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПОРТАТИВНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЯМЫХ И КОСВЕННЫХ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ОРГАНИЗМ

Железнов Р.С.

romannepro1@mail.ru

Научный руководитель: Н.А. Вицукаева, к.п.н.

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара)

В данном материале изложены результаты исследования и разработки портативного прибора для анализа сводной информации о состоянии человека, включающий в себя максимальный состав модификаций: Анализ структуры кожи, крови (В т.ч. анализ давления), стимуляции методом импульса, биоимпендансометрия, по БД симптомов, составу пота и тепловизора.

Целью статьи является разработка максимально эффективной в реалиях рынка, а также максимально полезной аппаратуры для регистрации сводных данных о состоянии человека и в некоторых случаях его окружения, с реализованной базой данных симптомов различных недугов.

Данный прибор включает в себя: 1. Гипоаллергенное стекло (Боросиликатное); 2.Линза (При модификации с анализом структуры кожи); 3. Фонендоскоп; 4. Датчик влажности и температуры; 5. Электрошоковое устройство; 6. Внешний компьютер 7. Микроконтроллер; 8. Wi-Fi модуль передачи данных; 9. Устройство записи данных на внешнюю память; 10.Биоимпендансометр (С ручными электродами (2-4 шт) в компактном исполнении при модификации); 11.Кожа с лапок геккона (Для более плавного анализа посредством иглы). В ходе исследования, было вынесено решение использовать микропроцессорные устройства платформы ARDUINO, по причине слабо исследованной базы подобной аппаратуры: • OLED дисплей, зеркало, линза Френеля (Минимум места с проецируемой информацией на дисплей); •USB (на выдачу к микроскопу); • Матрица камеры; • PH метр в комбинации с “плитой давления”; •Программа написанная на платформе Arduino для анализа сокращения

мышц; • Микроконтроллер Arduino (В зависимости от сложности комплектации); • Интерфейс для поиска по базе данных; • Термопара; • Телефон и наличие USB кабеля (Либо ПК); • Bluetooth модуль для связи с телефоном(При модификации) и БД.

Минусы:1.Стационарное использование при использовании БД. 2. Возможная неточность в анализах при использовании дешёвых компонентов. 3. Для анализа крови нужен прямой контакт с кровью. 4. Сложности согласования и разработки. Плюсы: 1.Адаптивность цен. 2.Понятность для пользователя. 3. Универсальность анализов 4. Возможность проведения более широких исследований людей определённых регионов, стран и пр. 5. Низкий вес и портативность (За минусом прибора изучения кожи). 6. Отсутствие влияния температур компонентов на кожу человека. 7. Безопасность (За исключением шоковой модификации для спортсменов и людей с опасными типами работ) 8. Относительная прочность конструкции.

Структурная схема анализатора выглядит следующим образом:

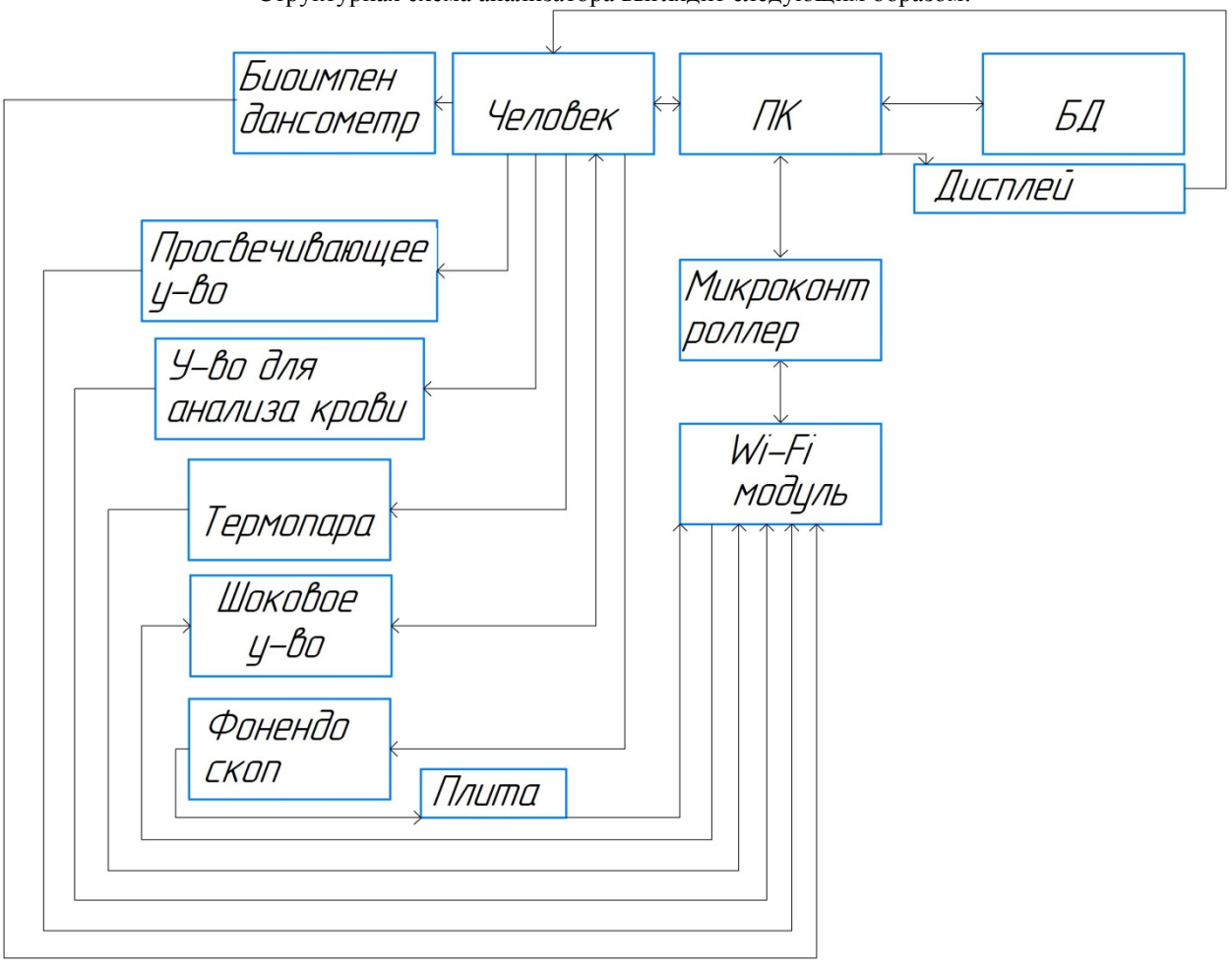


Рис.1. Структурная схема портативного устройства.

Устройство будет работать следующим образом: данные компонентов поступают на цифровые и аналоговые порты микроконтроллера, происходит формирование расчётов и повторный анализ (Трижды при настройке на точность) при необходимости. На основе сводки, по порядку на OLED дисплей будут выводиться данные, при коротком нажатии на кнопку: Пульс, вес, мышечная масса, совет к поддержанию организма. При длительном удержании: Температуру, кровь (При наличии), костную массу, состав пота и отправит сводку на компьютер для обработки.

Способы реализации функционала в модификациях:

1) Анализ структуры кожи – Выполняется посредством матрицы камеры, чем больше разрешение, тем дороже вариация, желательна линза, а также посторонний источник света.

Для удешевления возможен стационарный метод установки, с отдельным, концентрированным источником света.

2) Анализ крови (В т.ч. анализ давления) – Выполняется напрямую, с расчётом прокола руки на которой нет у-ва, в корпусе имеется приспособленный паз для вставки иглы. В комплекте идут: 2 сменные иглы, раствор спирта для промывки (В различных формах: Вата + спирт, диск + спирт, салфетки, впрыскиватель), подобная модификация выдаётся для работников медслужб и могут быть инкрустированы в устройство, возможно также использование в военных и различных спец. нужд, в т.ч. космосе. В ёмкости с кровью располагается сменный картридж с чувствительной РН полоской и считывателем.

2.1) Анализ давления – Выполняется при помощи биоимпендансометра или дистанционного фонендоскопа, часть которого находится непосредственно в устройстве, а другая в отсеке и вставляется в ушную полость в более дешёвом варианте исполнения. Также, существует возможность использовать “Плиту давления” что механически фиксирует колебания при состоянии покоя. При малом уровне давления (Нахождение без сознания) отправляется запрос на компьютер через сеть интернет и высылается ваш адрес с запросом (Или без, при настройке), что позволяет помочь людям с различными, уже имеющимися или развивающимися заболеваниями. Программа также способна узнавать состояние сна и отличать его.

3) Стимуляция методом импульса – Выполняется с соблюдением условий, в первой модификации для исключительного контроля сокращений мышц и регуляции травмоопасных ситуаций, фактически ударяя разрядом тока на момент спазма, либо при неверной постановке мышц при падении. В данном методе не рекомендуется садиться в неестественное положение. После нескольких лет исследований станет возможным полностью подбирать для индивидуальной личности возможные риски развития грыж, различных растяжений и прочих травм. Рекомендуется использовать спортсменам, людям, связанным с тяжёлыми нагрузками. Комплектуется рядом инструкций по возможным опасностям и об опасности вскрытия.

4) Биоимпендансометрия – Выполняется через два (Или четыре) электрода, которые, на основании пропускания электрического разряда высокой частоты через тело человека позволяют определить давление, процентное соотношение жира, костной массы, воды на основании уже записанного в версии программы веса/роста предложить совет по поддержанию формы, основываясь на опыте всех пользователей.

5) База данных симптомов – Специальная программа, имеющая простой и расширенный интерфейс, предлагающий сводку всех людей кто указал схожие симптомы и то что им помогло, базу лекарств, анализаторов, докторов-операторов. При более простых запросах, содержащих 1-2 симптома рекомендуется связь с доктором-оператором. Однако, в данной базе отсутствуют лекарства что не были проверены, т.е. с не доказанным действием.

6) Анализ по составу пота – Выполняется на основании количества пота и толщины верхнего слоя кожи, проверяя тем самым проницаемость(Некоторые данные определяет игла, степень нажима на паз подаёт сигналы на микроконтроллер, исполняется в виде просвечивающего устройства, через алгоритмы и сводки с участков кожи других пользователей. Позволяет с высокой точностью определить тип кожи, дать советы при комбинации с другими симптомами. Грипп возможно определить при помощи краткого анализа и полученной сводке устройства.

7) Анализ по теплу тела – Выполняется для окончательной конкретики в измерениях и анализах, данные полученные с термопары будут поступать на устройство и отправляться на компьютер и обрабатываться с анализом текущей температуры в регионе пребывания человека, при нюансах (Закрытых, вентилируемых, охлаждаемых) помещений существует некоторая погрешность измерений.

Устройство, хоть и изолировано от окружающей среды – посредством боросиликатного стекла не рекомендуется наносить сильные удары, использовать под водой более 30 мин.

Тем самым, определена фактическая возможность реализации эксперимента по анализу человеческого организма, посредством масштабной акции, либо продажи устройства. Решены в первую очередь научные аспекты, анализирована схемотехника и приблизительная стоимость конечных продуктов. Внесены поправки в уже существующие методы анализа и реализованы портативные их вариации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бионические руки. [Электронный ресурс] URL: https://habr.com/post/394579/ Автор: И. Сычёв (Доступ свободный. Дата доступа 01.05.2019)
2. Структура, свойства и технология стекла , Шелби Д., 2005г. 288с.
3. Анализы. Полный справочник. Глава 1-11. Михаил Борисович Ингерлейб., 2012г. 246с.
4. Изучаем Arduino. Инструменты и методы технического волшебства Джереми Блум. 2013г. Издание на английском языке. 336с.

DEVELOPMENT OF THE BLOCK DIAGRAM OF A PORTABLE DEVICE FOR DETERMINING THE DIRECT AND INDIRECT FACTORS OF INFLUENCE ON THE HUMAN BODY

Zheleznov R.
romannepro1@mail.ru
Supervisor: N. Vitsukaeva, Candidate of Pedagogic Sciences
(Samara national research University named after academician S.P. Korolev, Samara)

This article presents the results of research and development of a portable device for the analysis of summary information about the human condition, including the maximum composition of modifications: Analysis of the structure of the skin, blood (including pressure analysis), stimulation by pulse, bioimpendansometry, the database of symptoms, the composition of sweat and thermal imager.

УДК 629.7.05.67:629.7.054.44

ПОСТРОЕНИЕ И АЛГОРИТМЫ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ ВЕРТОЛЕТА С НЕПОДВИЖНЫМ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ АЭРОМЕТРИЧЕСКИМ ПРИЕМНИКОМ

Закхеев А.Е., Мухамедияров Т.А.
vv-soldatkin@mail.ru
Научный руководитель: В.В. Солдаткин, д.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Рассмотрены подходы к использованию, формированию и восприятию информации аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта с помощью неподвижного многофункционального аэрометрического приемника и обработки ее в каналах системы воздушных сигналов вертолета.

При проведении различных видов работ, монтаже промышленных и энергетических объектов и выполнении других полетных задач широкое применение получили вертолеты различных классов. При этом обеспечение безопасности полетов и эффективности применения вертолетов является важной для авиации задачей, решение которой имеет существенное значение для экономики и обеспечении обороноспособности страны.

Для обеспечения безопасности полета вертолета в ручном и автоматическом режимах пилотирования, при решении полетных и специальных задач необходима достоверная информация высотно-скоростных параметрах, определяющих аэродинамику и динамику движения вертолета относительно окружающей воздушной среды [1, 2]. Однако измерение воздушных сигналов на борту вертолета затрудняется значительными аэродинамическими возмущениями, вносимыми индуктивными потоками вихревой колонны несущего винта. При

этом способность вертолета совершать движение вперед-назад, вправо-влево, полеты на режиме висения, при изменении угла скольжения в диапазоне ±180º ограничивает использование традиционных средств измерения воздушных сигналов [3, 4].

Широкие возможности по преодолению указанных ограничений открываются при использовании для целей измерения воздушных сигналов информации аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта [5], воспринимаемой неподвижным многофункциональным аэрометрическим приемником [6].

Как показывает анализ аэродинамического поля вблизи фюзеляжа вертолета [6], вектор скорости $\boldsymbol{V}_\Sigma$ результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта, воспринимаемый бортовым приемником аэрометрической информации, можно представить в виде:

$$\boldsymbol{V}_\Sigma = \boldsymbol{V} + \boldsymbol{V}_i + \boldsymbol{V}_\text{ф} \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{V}$ – стационарная составляющая, обусловленная поступательным движением вертолета относительно воздушной среды; $\boldsymbol{V}_i$ – стационарная составляющая скорости индуктивного потока и воздушного потока за счет тяги несущего винта; $\boldsymbol{V}_\text{ф}$ – флуктуационная составляющая, обусловленная маховыми движениями лопастей и работой автомата перекоса.

Круговые частоты флуктуационных составляющих вектора скорости $\boldsymbol{V}_\text{ф}$ кратны угловой скорости вращения несущего винта, поэтому вектор флуктуационной скорости $\boldsymbol{V}_\text{ф}$ результирующего воздушного потока вихревой колонны может быть выделен и в значительной степени отфильтрован от составляющих $\boldsymbol{V}$ и $\boldsymbol{V}_i$ в каналах системы воздушных сигналов вертолета.

Тогда в качестве информативного параметра аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта можно использовать отфильтрованный от флуктуационных составляющих вектор скорости $\boldsymbol{V}_\Sigma$ результирующего воздушного потока вихревой колонны в виде геометрической суммы вектора $\boldsymbol{V}$ воздушного потока, формируемого при движении вертолета относительно окружающей среды, и вектора скорости $\boldsymbol{V}_i$ воздушного потока, создаваемого несущим винтом вертолета, т.е.

$$\boldsymbol{V}_{\boldsymbol{\Sigma}} = \boldsymbol{V} + \boldsymbol{V}_i = \boldsymbol{V}_i - \boldsymbol{V}_\text{В}, \qquad (2)$$

где $\boldsymbol{V}_\text{В} = -\boldsymbol{V}$ – вектор истинной воздушной скорости вертолета.

Для восприятия информативных параметров аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта предложено [7] использовать неподвижный многофункциональный аэрометрический приемник, конструктивная схема которого приведена на рис. 1.

Неподвижный многофункциональный аэрометрический приемник выполнен на базе многоканального проточного аэрометрического приемника 1 [8], воспринимающего информацию о высотно-скоростных параметрах на скоростях полета вертолета, при которых он находится вне зоны вихревой колонны несущего винта ($V_\text{В} \geq 50…60$ км/ч).

Для получения информации о высотно-скоростных параметрах вертолета в области малых и околонулевых скоростях полета, когда неподвижный многоканальный проточный приемник 1 находится в створе вихревой колонны несущего винта вертолета, на наружной поверхности верхнего экранирующего диска 3 в вертикальной плоскости установлен дополнительный аэрометрический приемник 7.

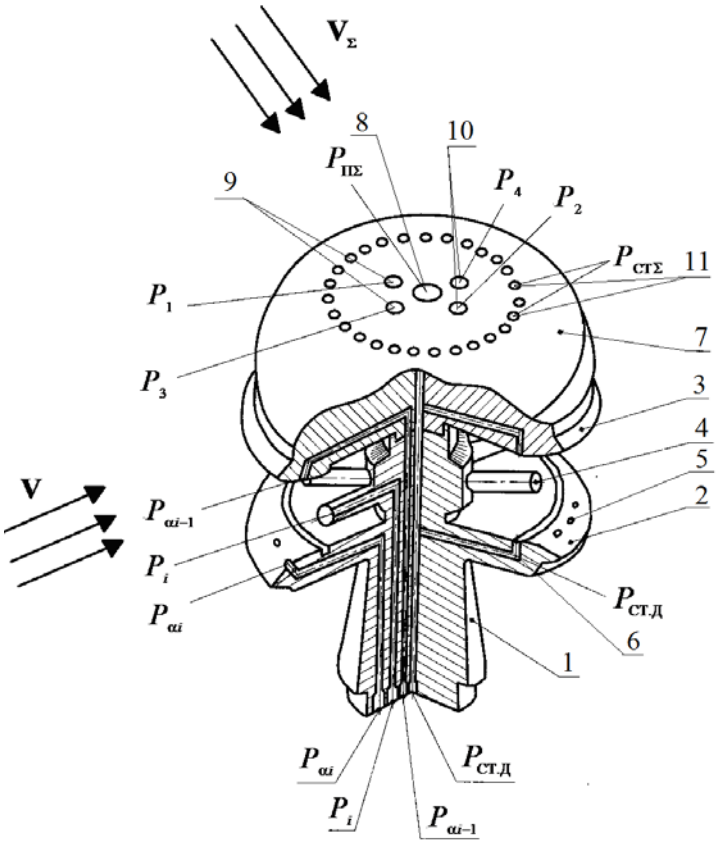


Рис. 1. Конструктивная схема неподвижного многофункционального аэрометрического приемника

В целях уменьшения аэродинамических искажений дополнительный приемник 7 выполнен в виде полусферы с диаметром, равным диаметру верхнего экранирующего диска приемника 1, которая установлена непосредственно на его верхней поверхности. На верхней поверхности полусферического приемника 7 на оси симметрии расположено отверстие 8, являющееся приемником полного давления $P_{\text{ПΣ}}$ результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта. В плоскости, параллельной плоскости симметрии вертолета, под углом φ_{01} к оси симметрии на поверхности полусферического приемника симметрично расположены отверстия 9, являющиеся приемниками давлений P_1 и P_2. В плоскости, перпендикулярной плоскости симметрии вертолета симметрично под углом φ_{02} к оси симметрии на верхней поверхности полусферического приемника расположены отверстия 10, являющиеся приемниками давлений P_3 и P_4. Перпендикулярно оси симметрии полусферического приемника на его поверхности по окружности расположены отверстия 11, объединенные в общий канал приемника статического давления $P_{\text{СТΣ}}$ результирующего набегающего воздушного потока вихревой колонны.

Тогда по информации, воспринимаемой полусферическим приемником определяется модуль V_Σ скорости и плотность ρ_Σ результирующего набегающего воздушного потока.

Проекции вектора $\boldsymbol{V}_\Sigma$ результирующего воздушного потока на оси связанной с вертолетом системы координат определяются как:

$$V_{\Sigma x} = V_\Sigma \sin\varphi_1 \cos\varphi_2; \quad V_{\Sigma y} = V_\Sigma \cos\varphi_1 \cos\varphi_2; \quad V_{\Sigma z} = V_\Sigma \sin\varphi_2, \tag{3}$$

где φ_1 и φ_2 – углы, определяющие положение вектора $\boldsymbol{V}_\Sigma$ результирующего набегающего потока вихревой колонны относительно осей симметрии приемников давлений P_1, P_2 и P_3, P_4.

1. При малых скоростях полета и на режиме висения, когда неподвижный пространственно распределенный многофункциональный аэрометрический приемник находится в зоне вихревой колонны несущего винта по давлениям P_1, P_2 и P_3, P_4, воспринимаемым отверстиями 10 и 11, расположенными на верхней поверхности полусферического приемника 7 (см. рис. 1), можно определить углы φ_1 и φ_2, определяющие положение вектора $\boldsymbol{V}_\Sigma$ результирующего набегающего воздушного потока вихревой колонны несущего винта вертолета. Связь перепадов давлений $\Delta P_1 = P_1 - P_2$ и $\Delta P_2 = P_3 - P_4$ с углами φ_1 и φ_2, можно представить в виде [9]

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_\Sigma} = \frac{9}{4}\sin 2\varphi_{01}\sin 2\varphi_1; \quad \frac{\Delta P_2}{\Delta P_\Sigma} = \frac{9}{4}\sin 2\varphi_{02}\sin 2\varphi_2. \tag{4}$$

С учетом кинематического искажения вектора $\boldsymbol{V}$ скорости воздушного потока, обусловленное движением вертолета относительно окружающей среды, составляющие V_x, V_y, V_z, величина $V_\text{В}$ вектора $\boldsymbol{V}_\text{В}$ истинной воздушной скорости, углы атаки α и скольжения β вертолета, статическое давление P_H, плотность ρ_H, барометрическая высота H и приборная скорость $V_\text{пр}$ вертолета определяются в соответствии с соотношениями вида:

$$\begin{aligned}
V_x &= V_\Sigma \sin\left[\frac{1}{2}\arcsin\left(\frac{4}{9K_1(\varphi_2, V_\Sigma)\sin 2\varphi_{01}}\frac{\Delta P_1}{\Delta P_\Sigma}\right)\right]\times \\
&\times\cos\left[\frac{1}{2}\arcsin\left(\frac{4}{9K_2(\varphi_1, V_\Sigma)\sin 2\varphi_{02}}\frac{\Delta P_2}{\Delta P_\Sigma}\right)\right] - K_{ix}\left|V_{i0}\right| - (\omega_y z - \omega_x y); \\
V_y &= V_\Sigma \cos\left[\frac{1}{2}\arcsin\left(\frac{4}{9K_1(\varphi_2, V_\Sigma)\sin 2\varphi_{01}}\frac{\Delta P_1}{\Delta P_\Sigma}\right)\right]\times \\
&\times\cos\left[\frac{1}{2}\arcsin\left(\frac{4}{9K_2(\varphi_1, V_\Sigma)\sin 2\varphi_{02}}\frac{\Delta P_2}{\Delta P_\Sigma}\right)\right] - K_{iy}\left|V_{i0}\right| - (\omega_z x - \omega_x z); \\
V_z &= V_\Sigma \sin\left[\frac{1}{2}\arcsin\left(\frac{4}{9K_2(\varphi_1, V_\Sigma)\sin 2\varphi_{02}}\frac{\Delta P_2}{\Delta P_\Sigma}\right)\right] - K_{iz}\left|V_{i0}\right| - (\omega_x y - \omega_y x); \\
V_\text{В} &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2};
\end{aligned} \tag{5}$$

$$\alpha = \operatorname{arctg}\frac{V_y}{V_x}; \quad \beta = \arcsin\frac{V_z}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}} = \arcsin\frac{V_z}{V_\text{В}}; \quad P_H = P_{\text{СТ}\Sigma} - K_P\frac{\rho_\Sigma V_\Sigma^2}{2};$$

$$H_\text{абс} = H = \frac{T_0}{\tau}\left[1 - \left(\frac{P_H}{P_0}\right)^{\tau R}\right]; \quad \rho_H = \rho_0\frac{P_H T_H}{P_0 T_0};$$

$$V_\text{пр} = \sqrt{2gRT_0\frac{k}{k-1}\left[\left(\frac{P_\text{дин}}{P_0}\right)^{\frac{k}{k-1}}\right]}; \qquad P_\text{дин} = 0{,}5\rho_H V_\text{В}^2,$$

где P_0 и T_0 – абсолютное давление и температура воздуха на уровне моря; R и k – удельная газовая постоянная и показатель адиабаты для воздуха; $\left|V_{i0}\right|$ – модуль вектора индуктивной скорости несущего винта вертолета на режиме висения; τ – температурный градиент; $K_1(\varphi_2, V_\Sigma)$ и $K_2(\varphi_1, V_\Sigma)$ – коэффициенты, учитывающие взаимное влияние углов φ_1 и φ_2 на распределение давлений P_1, P_2 и P_3, P_4 на поверхности полусферы, которые в общем случае зависят от величины $\boldsymbol{V}_\Sigma$ и определяются при тарировке приемника 1 в

аэродинамической трубе; K_P – коэффициент, учитывающий искажения статического давления $P_{\text{СТ}\Sigma}$, воспринимаемого многоканальным проточным аэрометрическим приемником и определяемый при летных испытаниях с учетом места установки приемника на фюзеляже вертолета.

2. При скоростях полета, когда неподвижный пространственно распределенный многофункциональный аэрометрический приемник выходит из зоны вихревой колонны несущего винта высотно-скоростные параметры вертолета определяются по давлениям $P_i, P_{\alpha i}, P_{\alpha i-1}, P_{\text{СТ.Д}}$, воспринимаемым многоканальным проточным аэрометрическим приемником 1 (рис. 1), в соответствии с алгоритмами, приведенными в работах [6, 9].

Как показано в работе [6], по значению $P_{i\max}$, вычисляемому по давлениям P_i определяется численное значение величины $V_{\text{В}}$ вектора истинной воздушной скорости вертолета с использованием выражения вида

$$V_{\text{В}} = \sqrt{\frac{2}{\rho_H}(P_{i\max} - P_H)} = \sqrt{\frac{2P_0T_H}{\rho_0 P_H T_0}(P_{i\max} - P_H)}, \qquad (6)$$

где $\rho_H = \rho_0 \dfrac{P_H T_0}{P_0 T_H}$ – плотность воздуха на высоте полета H; P_H и T_H – статическое давление и абсолютная температура на высоте H; $P_0 = 760$мм.рт.ст $=101325$Па, $\rho_0 = 1{,}225$кг/м^3 и $T_0 = 288{,}15$К – статическое давление, плотность воздуха и абсолютная температура на высоте $H = 0$ стандартной атмосферы.

Угловая координата ψ, определяющая угол скольжения β вектора истинной воздушной скорости $\boldsymbol{V}_{\text{В}}$ определяется выражением [6]

$$\psi = \beta = \psi_{mi} \pm (\theta_{\max} - \theta_x)t_0, \qquad (7)$$

где θ_X – безразмерная координата углового положения i-ой трубки полного давления, вблизи которой находится вектор скорости набегающего потока; t_0 – шаг координатной сетки безразмерной системы координат; $\theta_{\max}$ – безразмерная координата трубки полного давления, в которой давление $P_i = P_{i\max}$; $\psi_{mi} = \dfrac{360}{n} i$ – первое приближение, определяемое по номеру i-ой трубки полного давления, вблизи которой давление P_i близко к $P_{i\max}$.

Статическое давление P_H и абсолютная температура T_H на высоте H вертолета определяются по статическому давлению $P_{\text{СТ.Д}}$, воспринимаемому неподвижным проточным аэрометрическим приемником 1 (рис. 1), и по показаниям бортового приемника температуры торможения $T_{\text{Т}\Sigma}$, установленного в месте установки приемника на фюзеляже вертолета или непосредственно в приемнике.

По давления $P_{\alpha i}$ и $P_{\alpha i-1}$, воспринимаемым отверстиями на нижнем и верхнем экранирующих дисках неподвижного многоканального проточного аэрометрического приемника, определяется положение α вектора скорости $\boldsymbol{V}$ набегающего воздушного потока в ортогональной плоскости, например по соотношению вида

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{1}{2\sin 2\varphi_{0\alpha}} \frac{P_{\alpha i} - P_{\alpha i-1}}{P_{i\max} - P_{\text{СТ.Д}}}\right), \qquad (8)$$

где $\varphi_{0\alpha}$ – угол расположения приемных отверстий по каналу угла атаки.

По дросселированному статическому давлению $P_{\text{СТ.Д}}$, воспринимаемому канавками, установленными в характерном сечении проточного канала аэрометрического приемника,

определяется барометрическая высота в соответствии со стандартной зависимостью

$$H = \frac{T_0}{\tau}\left[1 - \left(\frac{P_{\text{СТ.Д}}}{K_p P_0}\right)^{\tau R}\right], \qquad (9)$$

где $\tau = 0{,}0065\,\text{К/м}$ – температурный градиент; R =29,27м/К – газовая постоянная воздуха.

Таким образом, с помощью неподвижного многоканального проточного аэрометрического приемника обеспечивается измерение высотно-скоростных параметров вертолета при скоростях полета, когда приемник находится вне зоны вихревой колонны несущего винта в диапазоне изменения углов скольжения ±180º.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Володко А.М.* Безопасность полетов вертолетов. – М.: Транспорт, 1981. 223с.

2. Петросян Э.А. Аэродинамика соосного вертолета: балансировки, устойчивость, управление, маневрирование, автоматическая стабилизация и управление. М.: Полигон-Пресс, 2004. 816с.

3. *Алексеев Н.В., Кравцов В.Г., Назаров О.И. и др.* Системы измерения воздушных параметров нового поколения // Авиакосмическое приборостроение. 2003. №8. С.31-36.

4. *Козицин В.К., Макаров Н.Н., Порунов А.А., Солдаткин В.М.* Анализ принципов построения систем измерения воздушных сигналов вертолета // Авиакосмическое приборостроение. 2003. №10. С.2-13.

5. *Солдаткин В.В.* Аэрометрическая система измерения малых воздушных скоростей вертолета на основе информации о положении вихревой колонны несущего винта // Известия вузов. Авиационная техника. 2009. №4. С.52-56.

6. *Солдаткин В.В.* Система воздушных сигналов вертолета на основе неподвижного комбинированного аэрометрического приемника и информации аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта: Монография. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. 284с.

7. Патент РФ на изобретение №2427844 МПК G01P 5/14. Система воздушных сигналов вертолета / Солдаткин В.В., Солдаткин В.М., Порунов А.А., Никитин А.В., Макаров Н.Н., Кожевников В.И., Белов В.П., Истомин Д.А. Заявл. 09.03.2010. №2010108881/28. Опубл. 27.08.2011. Бюл. №24.

8. *Солдаткин В.М.* Методы и средства измерения аэродинамических углов летательных аппаратов. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2011. 448с.

9. *Петунин А.Н.* Методы и техника измерения параметров газового потока. М.: Машиностроение, 1972. 332с.

10. *Солдаткин В.В.* Теоретические основы построения системы воздушных сигналов вертолета на основе неподвижного многофункционального аэрометрического приемника // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. Вып. 7. С. 245-253.

DESIGN AND ALGORITHMS OF THE AIR DATA SYSTEM HELICOPTER'S ON THE BASIS FIXED MULTIFUNCTIONAL AEROMETRIC RECEIVER

Zakkheev A., Mukhamediyarov T.

vv-soldatkin@mail.ru

Supervisor: V. Soldatkin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

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

The approaches to use, formation and perception of information aerodynamic field of vortex column of main rotor with a fixed multifunctional aerometric receiver and processing it in the channels of the system air data signals helicopter are considered.

УДК 572.524.11

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИКИ КОЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛИЦА

Ибрагимова Л.А.
Solnishko.landish@mail.ru
Научный руководитель: М.М. Тюрина, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В статье обоснована актуальность контроля параметров состояния кожного покрова и представлены результаты схемотехнической разработки программно-аппаратного комплекса диагностики кожной поверхности лица.

Измерение физико-механических характеристик состояния кожного покрова лица с помощью различных методов и средств диагностики остается актуальной задачей, в силу того, что эта информация позволяет оценить не только внешнее состояние кожной поверхности при проведении косметологических процедур, но также является информативной базой при диагностике больных с кожными заболеваниями. Сам по себе кожный покров, являясь сложноорганизованной системой, выступает в качестве «интегрального индикатора», «сообщающего» о наличие каких-либо изменениях, проявляющихся в результате протекающих процессов в организме [1].

Анализ тенденции развития отечественного рынка современных медицинских услуг по исследованию внешнего состояния кожного покрова лица, показали, что на сегодняшний день отсутствует аналог средств медицинской техники, направленных на проведение диагностики физико-механических свойств кожной поверхности лица [2-6]. А дерматовенерологическое направление в зарубежных странах наоборот сопутствуется разработками медикаментозных веществ и устройств диагностики, позволяющих проводить диагностику на клеточном уровне, что характеризуется дороговизной процедуры. Странами лидером в данной области является, США (компании «Esthetician», «VISIA»), Италия (компания «Soft plus top»), Израиль (компания «Israel Hospital»).

Несмотря на развитую современную инфраструктуру и «тандем» двух направлений в области эстетической медицины и дерматологии, существуют данные, которые свидетельствуют об обратном. Данные статистического анализа за 2018 г. показали, что индекс системы здравоохранения на территории РФ составил 57,29 ед. (это 57-е место из 76-и стран-участниц), что является показателем уровня жизни населения РФ среди других стран [7, 8]. На данный результат существенно влияет степень медицинского оснащения техникой, и количество пациентов, имеющих кожные патологии. Согласно данным всемирной организации здоровья (ВОЗ), численность людей, имеющих патологии с кожей во всем мире составляет 22%. Если рассматривать статистику характерной для территории России, то ежегодно количество людей, страдающих лишь с экземой, составляет около 2,36 млн. [7, 8]. Приведенная статистика свидетельствует об актуальности тематики исследования и подтверждает необходимость разработки программно-аппаратного комплекса диагностики кожной поверхности лица, позволяющего комплексно проводить оценку состояния кожи.

Анализ научных статей [2-5], посвященных гистологическим исследованиям кожной поверхности, позволил выявить, ряд количественных параметров, по которым оцениваются характеристики кожного покрова. Данные сведены в табл. 1. Наиболее информативными параметрами считаются физико-механические, которые оцениваются количественно свойствами упругости и эластичности кожной поверхности, а также степень содержания влаги во внутренних слоях кожи.

Результаты анализа патентных документов, различных литературных и интернет-источников, позволили обоснованно подойти к решению задачи схемотехнической разработки программно-аппаратного комплекса [6, 9]. Поиск материалов был осуществлен на основе базы данных фонда Национальной библиотеки РТ, Республиканского центр

медицинской информации, в библиотеках университета КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ и по электронным материалам из сети «Интернет»: http://www.findpatent.ru, http://www1.fips.ru.

Таблица 1

Параметры кожного покрова

№ п/п	Параметры кожного покрова	Норма	Патология
1	Кислотность, *pH*	4,5 - 5,5	pH > 7 единиц
2	Деформационно-нагрузочная характеристика, определяющий средний модуль упругости, *E* [кПа]	25 - 100	> 25
3	Верхняя граница модуля упругости нормальной кожи, *E* [кПа]	6	> 6
4	Поверхностная плотность, ρ [мг/см^3]	4	> 4
5	Предел прочности кожи лица на сжатие, $\sigma_{пр}$ [МПа]	6 - 12	> 6
6	Электропроводность сухой кожи, [1/Ом·см]	$e{\cdot}10^{-7}$	$> e{\cdot}10^{-7}$
7	Модуль упругости коллагена в коже, $E_{упр}$ [МПа]	40 – 100	> 40
8	Модуль упругости эластина в коже, $E_{упр}$ [МПа]	0,2 – 0,6	> 0,2
9	Электрическое сопротивление кожи, [Ом·м] при частоте тока, [Гц]	$3{\cdot}10^3$-$2{\cdot}10^4$ 50	$> 3{\cdot}10^3$-$2{\cdot}10^4$ 50
10	Водный баланс кожи, [г/м^2]	40 >	> 12
11	Толщина слоев кожной поверхности в области лица: - эпидермис весь, [мм] - дерма, [мм] - гиподерма, [мм]	 0,1-2 0,5-5 2-10 и более	 > 0,1 > 0,5 >2, 10 >

На базе прототипа технического решения [9], была разработана функциональная схема, представленная на рис.1. Преимуществом разрабатываемого программно-аппаратного комплекса заключается в наличии двух измерительных каналов, позволяющих определить количественно два взаимозависимых параметра кожной поверхности лица: вязкоупругие параметры и влажность.

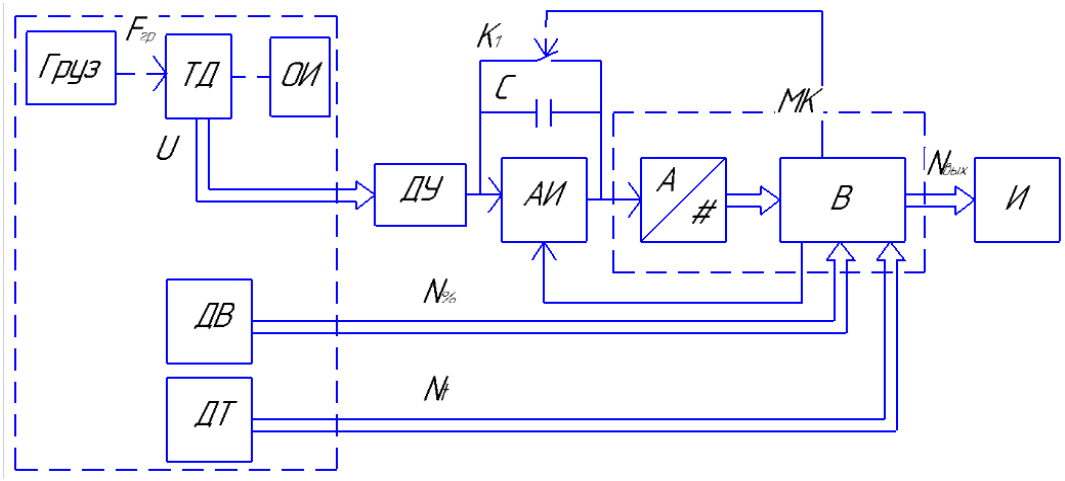


Рис. 1. – Функциональная схема программно-аппаратного комплекса диагностики кожного покрова лица

Составными частями разрабатываемой функциональной схемы (рис. 1) являются: ОИ – объект исследования, ТД – тензометрический датчик, ДВ – датчик влажности, ДТ – датчик температуры, ДУ – дифференциальный усилитель, АИ – аналоговый интегратор, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, В – вычислитель, МК – микроконтроллер, И – индикатор (цифровой дисплей устройства).

Механизм работы канала измерения упругих свойств кожного покрова основывается на баллистометрическом методе воздействия [10]. Прикрепленный груз с $m = 20$ гр, при воздействии на него совершает свободное падение на поверхность тензометрического датчика. Сила падающего груза $F_{гр}$ передается на поверхность кожи лица через специальную

упругую мембрану. Датчик преобразовывает измеряемую упругую деформацию твердого тела в электрический сигнал *U*, который зависит от изменения сопротивления тензометрического датчика. Полученные данные усиливаются в дифференциальном усилителе, интегрируются по времени от входного сигнала в аналоговом интеграторе. В микроконтроллере осуществляется процесс преобразования аналогового сигнала в цифровой, обрабатывается в вычислителе и выдается на цифровой дисплей программно-аппаратного комплекса.

Информация о состоянии влажности кожного покрова оценивается с помощью датчика влажности с цифровым выходным сигналом. Механизм работы канала измерения влажности состоит в контакте чувствительного элемента датчика с измеряемым участком кожной поверхности. В связи с этим, измеренные данные напрямую поступают на цифровой порт микроконтроллера.

Повышение информативной точности информации о влажности достигается за счет дополнительного измерения температуры. Датчик выполняет корректирующую функцию, при отклонении температуры от нормы (20°C). Выходной сигнал с датчика подключается к цифровому порту микроконтроллера.

Таким образом, в работе представлен вариант схемотехнической разработки программно-аппаратного комплекса диагностики кожного покрова лица, включающего два измерительных канала и обладающий повышенной надежностью работы и высоким быстродействием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Порунов А.А., Ибрагимова Л.А., Тюрина М.М., Петрова Н.Н.* Возможности улучшения внешнего облика, как фактор повышения качества жизни // Materials of the IV inter-national scientific conference on April 20–21, 2018. - Prague: Vědecko vydavatelské centrum «Sociosféra-CZ», 2018. – 36-38 p.

2. *Балабанов Е.И.* Кожа человека Механические свойства. Теплопередача. Аналитический обзор: Российский журнал биомеханики. Том 10. – 2-е изд. – М.: 2001 г. 29-42 с.

3. *Гусев В.Г., Мустафин Т.Н.* Измерительные приборы для оценки физических свойств кожного покрова человека // Электроника и измерительная техника. Информационно-измерительные и управляющие системы. Уфа: УГАТУ, Т. 13, № 1 (34). - 2009, 187–192 с.

4. *Тимофеев Г.* Методы аппаратного исследования кожи человека. М.: Журнал «Косметика и медицина», № 4, 2005. - 25-28 с.

5. *Мусин Р.Ф.* О механизмах транспорта воды в эпидермисе / Морозов В.А., Сударев А.М. - Биофизика, том 35, вып. №4, 1990. - 653-656 с.

6. *Ибрагимова Л.А., Тюрина М.М., Порунов А.А.* Перспективные направления развития методов диагностики физико-механических свойств кожного покрова // Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2018: сб. тр. XXXI Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 4-6 декабря 2018 г. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2018. – 263-266 с.

7. Статистика заболеваний [Электронный ресурс]: http://vawilon.ru/statistika-zabolevanij/

8. Рейтинг систем здравоохранения стран мира за 2018 год [Электронный ресурс]: https://nonews.co/directory/lists/countries/health-care-index

9. *Яцун С.М.* Диагностический комплекс для исследования упругости и эластичности кожи. М.: Вестник новых медицинских технологий, Т. XV. - Вып. № 3, 2008. - 131-133 с.

10. *Ибрагимова Л.А., Тюрина М.М., Порунов А.А.* Связь современной эстетической медицины и дерматологии с помощью компьютерного моделирования // Сборник тезисов III Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Материалы и технологии XXI века»: 29-31 октября 2018 г. – Казань: КФУ, 2018. – 36 с.

CIRCUIT DEVELOPMENT OF HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX OF DIAGNOSTICS OF THE SKIN SURFACE OF THE FACE

Ibragimova Landysh
Solnishko.landish@mail.ru
Supervisor: Marina Tyurina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The article substantiates the relevance of monitoring the parameters of the state of the skin and presents the results of the development of circuit hardware and software complex diagnostics of the skin surface of the face.

УДК 616.853-009.24

УСТРОЙСТВО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЭПИЛЕПТИЧЕСКИХ ПРИПАДКОВ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ

Калукова А.В.
kalukovanastya@yandex.ru
Научный руководитель: М.М. Тюрина, к.т.н. доцент
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань*)

В данной работе приведено структурное построение устройства детектирования эпилептических припадков, а также разработан схемотехнический вариант построения корпуса. Приведен пример применения устройства в системе контроля параметров пациента на основе удаленного мониторинга.

Одним из самых распространенных заболевания нервной системы, по данным ВОЗ из доклада "Неврологические нарушения: задачи общественного здравоохранения" является эпилепсия. Из одного миллиарда людей, страдающих нарушениями нервной системы во всем мире, 50 миллионов человек страдает именно этим заболеванием [1]. В настоящее время диагностические мероприятия по контролю и своевременному предупреждению эпилептических приступов проводят только в условиях клиники под наблюдениям врачей и в ограниченные сроки. При этом сам пациент приходит к врачу только после проявления припадков, соответственно, измерение проводится тоже постфактум эпилептического события, что может никак не повлиять на показания тестов, так как человек, пришедший в больницу, как правило, находится в нормальном состоянии на момент визита [1]. В связи с этим в данной работе биологическим объектом выступает человек, подверженный генерализированным приступам эпилепсии с характерными движениями эпилептической активности (ХДЭА) и нарушением сознания.

В результате патентной проработки методов и средств проведения диагностических мероприятий после эпилептического припадка было выяснено, что в основном приборы, направленные на диагностику эпилепсии по ХДЭА имеют ограниченное количество измерительных каналов, являются энергозависимыми от внешних источников питания и используются для снятия информации по ХДЭА только во сне [2]. Анализ патентных материалов позволил определить принцип работы устройства детектирования эпилептических припадков в обратной связи лечения эпилептических припадков, представленный на рис.1.

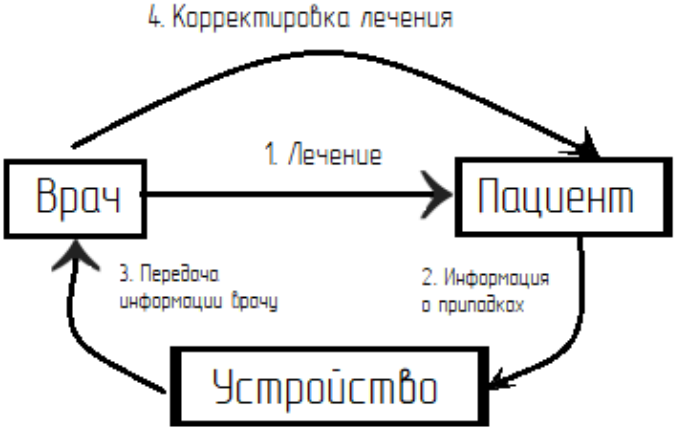


Рис. 1. Принцип работы устройства детектирования эпилептических припадков в обратной связи лечения эпилептических припадков.

С учетом всех недостатков рассмотренных устройств была разработана структурная схема устройства детектирования эпилептических припадков (рис.2). Канал измерения температуры включен в данную схему по причине того, что при эпилептическом припадке у человека часто наблюдается повышение температуры [3]. Канал контроля сердцебиения позволяет отслеживать вариабельность пульса, которая говорит о стрессовом фоне человека, страдающем эпилепсией, что напрямую связано с количеством и качеством припадков [4]. Передача данных о состоянии пациента осуществляется с помощью «Bluetooth» - технологии. Используя эту функцию врач может отслеживать эффективность лечения, так как, благодаря «Bluetooth» - передатчику, информация поступает на внешнее устройство, откуда передается в базу данных поликлиники (рис.2).

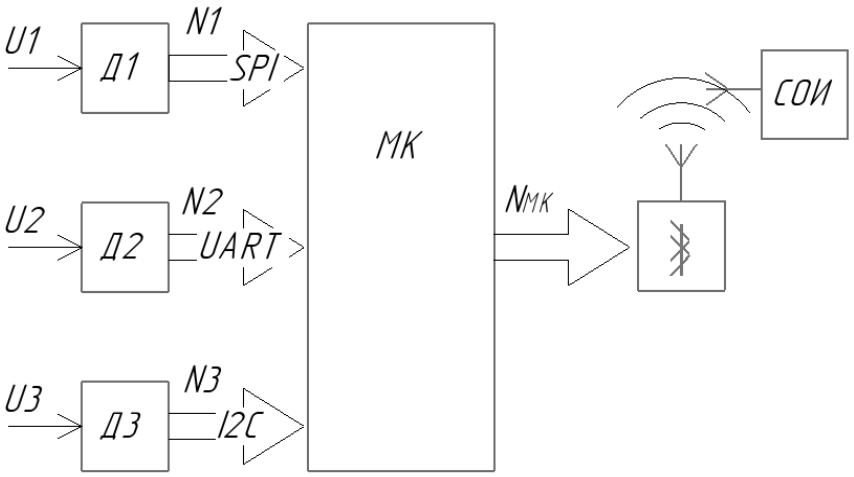


Рис.2. Структурная схема устройства детектирования эпилептических припадков:
Д1 – датчик, акселерометр ADXL345BCCZ, выходная информация которого передается в цифровом виде по шине SPI, Д2 – датчик – термометр DS18B20, выходная информация которого представлена в цифровом виде и передается через шину UART, Д3 – датчик– пульсометр Si1141, выходная информация представлена цифровым кодом, передается по шине данных I2C, МК – микроконтроллер DA14697/9 с возможностью передачи сигнала по «Bluetooth», СОИ – система отображения информации.

Алгоритм обработки информации включает подсчет припадков за определенное количество времени – референтных значений в норме при приеме того или иного препарата, если значения количества припадков выходит за пределы нормы – то в устройство напомнит пациенту через приложение о визите к врачу, также сделает пометку в электронной карте больного о том, что пациенту было отослано извещение о приеме к врачу в ближайшее время. Это, в свою очередь, позволит получать более достоверную информацию о тяжести и количестве припадков и приведет к предотвращению ложных сигналах о приступах.

Структурная схема имеет параллельно подключенные к МК измерительные каналы (рис.2), что позволяет увеличить надежность и скорость передаваемой информации [5]. Способ передачи информации – бит-параллельный, что позволяет подключать к одной шине данных сразу несколько датчиков.

По представленной структурной схеме был проведен параметрический синтез, который позволил обоснованно осуществить выбор элементной базы и разработать электрическую принципиальную схему. Элементы входящие в электрическую схему - DA14697/9 – микроконтроллер, ADXL345BCCZ – акселерометр, Si1141 – пульсометр, DS18B20 – термометр, LP401230 – аккумулятор.

Малые массогабаритные характеристики накладывает жесткие требования к конструкции устройства. Кроме того, температурный и пульсометрический датчики должны плотно прилегать к телу пациента и тесно контактировать с кожной поверхностью запястья. Определение судорожных движений в виде ХДЭА осуществляется с помощью акселерометрического датчика, который может быть встроен в основной блок платы и не отделен от микроконтроллера. Разработанная печатная плата устройства содержит три блока – измерительный, вычислительный и индикаторный. Само устройство снабжено автономным питанием, что позволит пациенту использовать устройство не только в клинических условиях.

В рамках параметрического синтеза были определены размеры плат и основных функциональных элементов:

1. Аккумулятор имеет следующие размеры – ширина – 4,9мм, длина – 30мм, высота – 12мм.

2. Плата измерительного блока – ширина – 2мм, длина – 10мм, высота – 10мм;

3. Плата вычислительного блока – ширина – 2мм, длина – 15,2мм, высота – 19,5мм.

На рис. 3 представлена 3D модель конструкции устройства детектирования эпилептических припадков. Разработка корпуса проводилась в программном пакете КОМПАС v17. В результате конструирования была получена модель устройства детектирования эпилептических припадков со следующими размерами – 20x35 для вычислительного блока и 10x10 для измерительного блока.

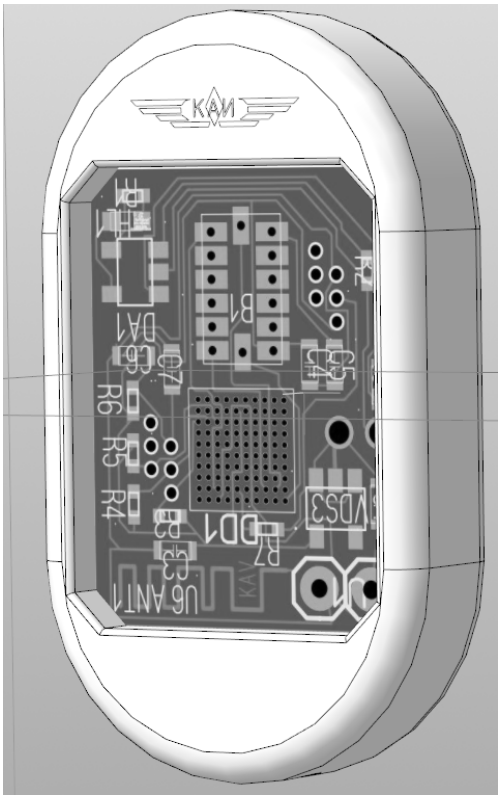


Рис. 3. Вид спереди 3D модели корпуса устройства детектирования эпилептических припадков.

Таким образом, в работе представлены результаты системотехнической проработки устройства детектирования эпилептических припадков, применение которого позволит проводить корректировку лечения врачом через обратную связь, а пациенту видеть картину течения своего заболевания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Всемирная организация здравоохранения www.who.int/media - Режим доступа - https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2007/pr04/ru/, дата посещения 10.06.2019.

2. *Горбунов А.В*. Способ диагностики эпилепсии и устройство для его реализации // Патент России № 2640138. 2017. Бюл. № 35.

3. *Долинина А.Ф.* Фебрильные судороги у детей. Риск возникновения / Л.Л. Громова // Уральский медицинский журнал. – 2015. – №1 (124). – С.103- 107.

4. *Т. В. Алейникова*. Вариабельность сердечного ритма // Проблемы здоровья и экология. – 2012. – С.17-23.

5. *Порунов А.А., Солдаткин В.М.* Расчет и проектирование измерительно-вычислительных систем медицинского назначения: Учебное пособие Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 1997. – 128с.

DEVICE OF DETECTION OF EPILEPTIC ADDITIVES IN THE SYSTEM OF CONTROL BASED ON REMOTE MONITORING OF PARAMETERS

Kalukova A.

kalukovanastya@yandex.ru

Scientific adviser: M. Turina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

This paper presents a structural construction of a device for detecting epileptic seizures, as well as a circuit design version of building a hull. An example of using the device in the patient's parameter control system based on remote monitoring is given.

УДК 616.379

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИНСУЛИНОТЕРАПИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОМПЫ

Мезин А.Е., Тюрина М.М.

mezinalex1@mail.ru

Научные руководители: А.А. Порунов, к.т.н., доцент,
М.М. Тюрина, к.т.н., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В работе систематизируется и обобщается исследования зарубежных и отечественных ученых в области разработки методов инсулинотерапии на основе помпы. Рассмотрен механизм углеводного обмена и предложены рекомендации по принципам построения перспективной инсулиновой помпы.

Раннее выявление и эффективная терапия тяжелых хронических заболеваний имеет высокое медико-социальное значение, что подчеркнуто в Президентской программе «Здоровье работающего населения России на 2004-2015 гг.». Одним таких серьезных заболеваний является сахарный диабет (СД). Статистические данные ВОЗ (2002 г.) показывают, что СД по своим тяжелыми осложнениям, приводящим к нарушениям здоровья со стойким значительно выраженным расстройством функций организма, приводящими к инвалидизации, занимает третье место после сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. Постановка на учет больных СД обуславливает необходимость организации им

своевременной помощи, обеспечением их регулярными лабораторными обследованиями и лекарствами, что приводит к бюджетным экономическим затратам. Число больных различными формами СД в мире составляет от 70 до 200 миллионов и эта цифра ежегодно увеличивается на 5-7%, а каждые 15 лет удваивается. Поэтому негативное влияние СД на демографическую ситуацию в России не вызывает сомнений.

В последнее время среди основных тенденций инсулинотерапии ***непрерывный*** круглосуточный ***мониторинг содержания глюкозы в крови (гликемии)*** часто находит применение в клинической практике эндокринологов и ***диабетологов***, что требует разработки новых методов и средств проведения мониторинга. Для аналитической оценки современных тенденций необходимо в рамках системного подхода углубленно изучить целевые параметры и возможность компенсации углеводного обмена при оптимизации управления ***СД*** как первого, так и второго типа.

Известно [1-3], что уровень глюкозы крови обычно контролируется с помощью индивидуальных глюкометров, но, по последним данным международных исследований, рутинные точечные измерения в дневное время не позволяют адекватно оценить вариабельность ***гликемии*** в течение суток. Более того, следует отметить, что в повседневной клинической практике наиболее сложной представляется оценка уровня ***гликемии*** в течение ночи, что обуславливает необходимость разработки автоматизированных систем круглосуточного контроля (рис. 1) и управления углеводным обменом пациента.

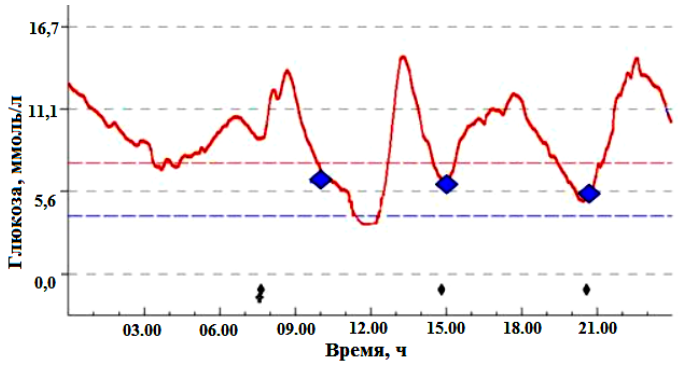


Рис.1. Данные непрерывного (измерения через каждые 5мин.) мониторинга гликемии (синим цветом отмечены результаты самоконтроля гликемии, красными – данные непрерывного мониторинга гликемии в течение суток).

О необходимости проведения ***непрерывного*** длительного ***мониторинга*** гликемии для оценки контроля углеводного обмена у больных СД убедительно свидетельствуют результаты исследования, проведенного Bruce W. Bode с соавт. [4]. В нем принимали участие 101 ***пациент***, причем каждый участник прошел ***мониторинг*** глюкозы в среднем в течение 12 дней. Исследования показали, что ***пациенты***, использующие столь частые измерения гликемии и имеющие широкий спектр терапевтических возможностей, находились в эугликемическом диапазоне всего около 65% времени в сутки, а временной интервал, в течение которого они достигали строгого гликемического контроля (по критериям Американской диабетической ассоциации), составлял менее 30% в сутки. Это свидетельствует о том, что существующие методы мониторинга и терапии ***диабета*** недостаточны для ежедневного поддержания нормогликемии. Почти 30% времени пациенты находились в гипергликемическом диапазоне с более выраженной тенденцией к гипергликемии в дневные часы, что, вероятно, было обусловлено вкладом постпрандиальной гипергликемии.

В работе представлены результаты анализа патентно-реферативных материалов и интернет источников информации, посвященной измерению уровня глюкозы в крови. Больные сахарным диабетом в настоящее время для мониторинга уровня гликемии применяют глюкометры, которые являются инвазивными и не позволяют проводить непрерывные измерения, и различного рода системы флэш-мониторинга, обладающие большой стоимостью и небольшим сроком службы.

Система мониторинга уровня глюкозы в крови, как правило, состоит из трех основных частей: чувствительного сенсора, монитора и устройства передачи данных на персональный компьютер, которые показаны в работе [4]. Сенсор представляет собой тонкий и гибкий стерильный платиновый электрод, который практически безболезненно устанавливается ***пациенту*** подкожно при помощи автоматического устройства в амбулаторных условиях. Принцип работы сенсора основан на глюкозооксидазном методе (рис. 2). Фермент глюкозооксидаза используется для того, чтобы конвертировать глюкозу на поверхности датчика в электронные сигналы. Последняя, под воздействием фермента (на сенсоре), превращается в глюконовую кислоту с выделением двух электронов. Электроны образуют электрический потенциал, который фиксируется электродом и передается на монитор через кабель. Чем выше содержание глюкозы в интерстициальной жидкости, тем больше появляется электронов, тем выше электрический потенциал.

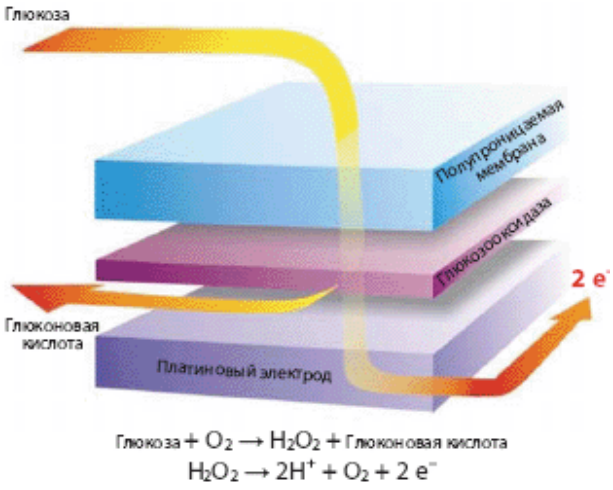


Рис.2. Сенсорный метод измерения глюкозы.

Монитор производит выборку сигналов каждые 10 секунд и делает запись среднего сигнала каждые 5 минут. Устройство монитора позволяет фиксировать факты приема пищи, приема лекарственных средств, эпизоды физических нагрузок и др. После окончания исследования полученные данные загружаются в персональный компьютер и обрабатываются с помощью специальной программы.

В рамках измерительных систем для точечных измерений наиболее перспективна реализация метода [2], при котором определение концентрации глюкозы в крови осуществляют путем облучения зоны максимального скопления кровеносных сосудов лазерным лучом. В структуру устройства (рис. 3) входят источник оптического когерентного излучения, поляризатор, два анализатора, микрообъектив и два фотодетектора, которые регистрируют интенсивность светового потока, прошедшего через анализаторы. При этом анализаторы приемных каналов предварительно настраивают под углами ±45° относительно плоскости пропускания поляризатора, а измерения проводятся непосредственно на поверхности кожи двумя каналами, расположенными симметрично относительно лазерного луча. Одновременно осуществляют регистрацию динамики микроциркуляции крови в исследуемом участке кожи. По полученным значениям интенсивности и поляризации обратнорассеянного светового поля определяют концентрацию глюкозы в крови.

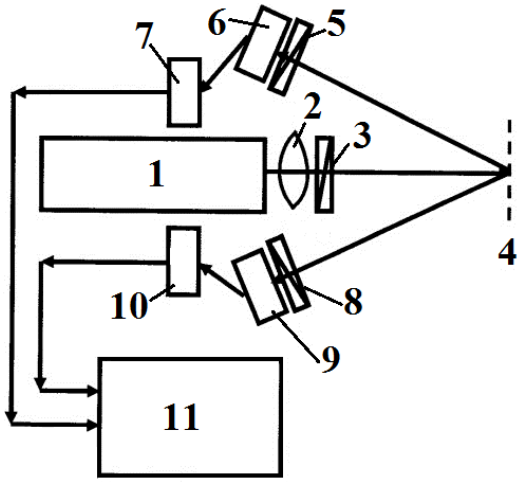


Рис. 3. Функциональная схема оптоэлектронного измерителя концентрации сахара в крови:
1 – источник когерентного оптического излучения, например лазер; 2 – микро-объектив; 3 – поляризатор;
4 – предметная плоскость, в которой размещается объект исследования; 5, 8 – анализаторы;
6, 9 – фотодетекторы; 7, 10 – усилители с аналого-цифровым выходом;
11 – блок обработки выходного сигнала, например компьютера.

Рассмотренные устройства позволяют только проводить измерения, но не компенсировать содержание глюкозы в крови. В связи с этим актуальным остается непрерывный контроль глюкозы в сочетании с устройствами для доставки лекарственных средств, что позволяет управлять инфузией больным диабетом инсулина с помощью механизма обратной связи. Для обеспечения возможности контроля инфузии инсулина применяются пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) контроллеры с математической моделью взаимодействий между глюкозой и инсулином у человека. ПИД-контроллеры можно настраивать на основании простых правил метаболических моделей. В частности, этот способ используется для контроля инфузионного насоса при помощи устройства обработки информации (УОИ), предназначенного для управления насосом и получения данных, по меньшей мере, от одного датчика уровня глюкозы (ДГ). Способ может быть реализован путем следующих этапов, на которых происходит измерение концентрации глюкозы у пациента при помощи эталонного датчика уровня глюкозы, обеспечивающее, по меньшей мере, одно определение концентрации за каждый временной интервал из серии индексированных дискретных временных интервалов и вычисляется количество инсулина для доставки при помощи УОИ (на основе контроллера с эталонной прогнозирующей моделью – ЭПМ), в котором используется: множество измерений глюкозы для прогнозирования изменений концентрации глюкозы, исходя из оценок метаболического состояния пациента, и формирования сигналов управления инфузионного насоса и регулирования количества инсулина для доставки пациенту. Доставляется инсулин, количество которого было определено на этапе вычисления.

Вариант структурного построения устройства для инсулинотерапии, реализующее описанный способ, в виде инсулиновой помпы представлен на рис. 4. Рабочий датчик уровня глюкозы для непрерывного измерения постоянно измеряет текущий уровень глюкозы в крови пациента через дискретные и, как правило, равномерные временные интервалы и представляет концентрацию глюкозы для каждого интервала в виде данных измерения глюкозы, причем в при пропуске результатов измерения в любой интервал времени сохраняет его предыдущее значение. Инфузионный насос для инсулина управляется УОИ (контроллером) для доставки инсулина пациенту.

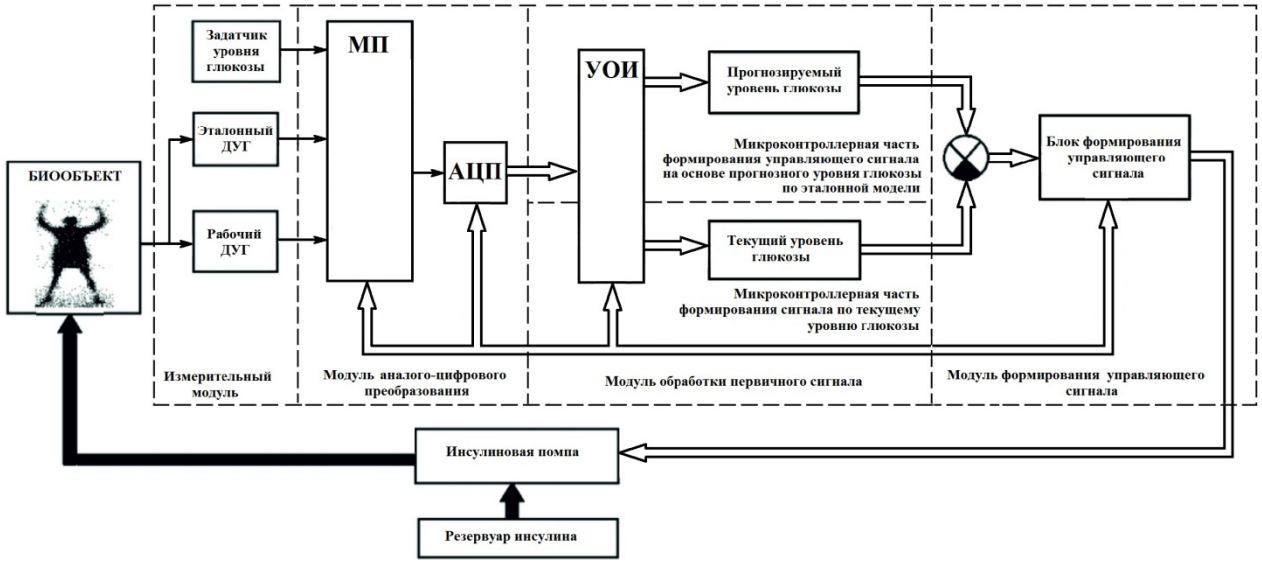


Рис. 4. Структурное построение инсулиновой помпы

Таким образом, в работе показана актуальность решения задачи круглосуточного мониторинга гликемии. На основе анализа современных тенденций инсулинотерапии было выявлено, что актуальна разработка точной беспрерывной системы, позволяющей определять концентрацию глюкозы в крови человека. Разработан вариант структурного построения перспективного устройства для инсулинотерапии с использованием помпы, обладающего точным и непрерывным определения концентрации глюкозы и своевременной подачей инсулина в организм человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гайворонский И.В., Ничипорук Г.И.* Функциональная анатомия эндокринной системы. Учебное пособие. Издание 3-е, доп. и испр. СПб.: ЭЛБИ-СПб. – 2010. – 60с.

2. *Давыдович М.Г. и др.* Актуальные вопросы инсулинотерапии на современном этапе // Современные аспекты профилактической и клинической медицины. – Уфа. 1995. – С.33-35.

3. Дедов И. И., Мельниченко Г.А., Фадеев В.В. Эндокринология. – М.: Медицина, 2000. – 630 с.

4. Значение непрерывного мониторинга гликемии у пациентов с сахарным диабетом Режим доступа: http://www.vsemhudet.ru /rus/ science_news /open/235.

5. *Boland E., Monsod T., Delucia M.* et al. Limitations of conventional methods of self–monitoring of blood glucose: lessons learned from 3 days of continuous glucose sensing in pediatric patients with type 1 diabetes // Diabetes Care. – 2001. – Vol. 24. – P. 1858-1862.

6. *www.medtronic–diabetes.ru*

7. *Аксенов Е.Т., Череватенко Г.*А. Способ неинвазивного измерения концентрации глюкозы в крови и устройство для его осуществления // Патент РФ №2515410. Опубл. : 10.05.2014, Бюл. №13.

8. *Файнен Д., Макканн Т., Венугопалан Р.* Способ и система настройки контроллера с замкнутым контуром регулирования для искусственной поджелудочной железы // Патент РФ №2652059. Опубл.: 24.04.2018, Бюл. №12.

SYSTEM OF MEASUREMENT AND ESTIMATION OF PARAMETERS OF MOBILITY OF ATHEROSCLEROTIC FORMATION IN BLOOD VESSELS

Mezin A.
mezinalex1@mail.ru
Supervisors: A. Porunov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
M. Tyurina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The work systematizes and summarizes the studies of foreign and domestic scientists in the field of developing methods for insulin therapy based on the pump. The mechanism of carbohydrate metabolism is considered and recommendations on the principles of building a promising insulin pump are proposed.

УДК 681.7.069

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ УСТРОЙСТВА ОПТИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА ИК-ФУРЬЕ

Мингалимова Р.Р.
regishka1997@mail.ru
Научный руководитель: С.В. Смирнова, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В данной статье приводятся основные показатели качества автомобильного бензина, которые регламентируются ТР ТС 013/2011. Далее описываются характеристики бензина, влияющие на правильность работы двигателя автомобиля, и возможные нарушения вследствие использования топлива низкого качества. Затем представляется сравнительная таблица качественных характеристик основных методов определения показателей качества автомобильного бензина, вследствие которой для дальнейшего анализа выбирается метод ближней инфракрасной (ИК) спектрометрии. Затем предлагается модернизация некоторых элементов принципиальной схемы анализатора бензина, работа которого основывается на методе ИК-спектрометрии.

На сегодняшний день происходит непрерывный рост спроса на высококачественное промышленное топливо, главным образом, для мирового автопарка, представляющего собой множество различных автомобилей. Так как качество бензина напрямую связано со сроком эксплуатации автомобиля и, главным образом, с мировой экологией, данный вопрос является довольно актуальным, поэтому все исследования в этой области имеют высокую ценность.

Так, автомобильный бензин, использующийся в качестве топлива для автомобиля, должен обеспечивать нормальную работу поршневого двигателя на всех режимах в различных условиях эксплуатации. В связи с этим качество бензина определяется его физико-химическими показателями, которые регламентируются в соответствии с ГОСТ [1].

Согласно [2] устанавливаются следующие требования к характеристикам автомобильного бензина, которые представлены в таблице 1:

Таблица 1

Требования к характеристикам автомобильного бензина

Характеристики автомобильного бензина	Единица измерения	Нормы экологического класса (К – экологический класс)			
		К2	К3	К4	К5
Массовая доля серы, не более	мг / кг	500	150	50	10
Октановое число по исследовательскому методу, не менее	-	80	80	80	80
Концентрация железа, не более	$мг / дм^3$	-	-	-	-
Концентрация марганца, не более	$мг / дм^3$	-	-	-	-
Концентрация свинца*, не более	$мг / дм^3$	5	5	5	5
* - для Российской Федерации для экологических классов К2, К3, К4 и К5 отсутствие					

Основываясь на представленных данных, делается вывод о том, что для того, чтобы поддерживать норму октанового числа, в бензинах с применением низкооктановых компонентов используются антидетонаторы на основе соединений свинца, марганца и железа. Данные соединения отрицательно сказываются на здоровье человека и на окружающей среде, поэтому во многих странах, в том числе и в России, использование антидетонаторов запрещено.

Так, если отклонения указанных показателей качества считаются существенными, то несоответствия, как правило, могут привести к нарушениям в работе двигателя автомобиля. Самыми распространенными проблемами с таким нефтепродуктом как автомобильный бензин являются следующие:

- несоответствие физико-химических показателей заявленным значениям;
- чрезмерное содержание воды;
- отсутствие соответствующей документации;
- использование запрещенных добавок.

Так, например, повышение октанового числа за счет использования запрещенных антидетонаторов соответствует образованию налета на камере сгорания и свечах, а также может привести к поломке форсунок.

Что касается ароматических углеводородов и смол в автомобильном бензине, их высокое содержание способствует быстрому загрязнению мотора, залеганию колец и перегреву.

Говоря о массовой доле серы в бензине, ее чрезмерное количество, как правило, приводит к повышению коррозионной активности топлива. А пониженное октановое число способствует быстрому выходу двигателя из строя.

В таблице 2 представлены последствия использования низкокачественного автомобильного бензина [3]:

Таблица 2

Нарушения в работе двигателя при использовании бензинов, имеющих отклонения от стандартизованных значений

Наименование показателя	Характер отклонения от нормы	Последствия для работы двигателя
Октановое число	Ниже нормы	Увеличение расхода бензина, снижение детонационной стойкости, преждевременный износ цилиндропоршневой группы
Содержание смол	Выше нормы	Склонность к увеличению отложений в камере сгорания, снижение детонационной стойкости, преждевременный износ цилиндропоршневой группы
Содержание кислот и щелочей	Выше нормы	Склонность к увеличению отложений в камере сгорания, коррозионная активность

Согласно приведенной таблице, при использовании автомобильного бензина, качеством которого не удовлетворяет установленным нормам, возможно сокращение срока службы двигателя автомобиля. В данном случае срок службы также зависит от непрерывного накопления различных механических и химических примесей, которые негативно сказываются на работе двигателя. Таким образом, данные факторы оказывают отрицательное влияние на работоспособность двигателя автомобиля, на его мощность и ресурс. Поэтому на данном этапе развития промышленности стоит отметить необходимость контроля качества поставляемого на рынок топлива, влияющего не только «жизнь» и эксплуатацию автомобиля, но и на экологические характеристики, к которым относятся загрязнения и выхлопы, а также коррозия и различные механические примеси (песок, мелкие камни и т.д.).

В настоящее время существует несколько основных методов, на которых базируется определение физико-химических показателей бензина. Данные методы лежат в основе работы многих приборов, которые активно используются в области исследования

промышленного топлива, причем они являются основой не только для отечественных приборов, но и для тех, что производятся заграницей и эксплуатируются в России.

Качественные характеристики основных методов определения показателей качества автомобильного бензина представлены в сравнительной таблице 3 [4][5]:

Таблица 3

Сравнительная таблица качественных характеристик основных методов определения показателей качества автомобильного бензина

Метод определения октанового числа автомобильного топлива	Преимущества	Недостатки
Ультразвуковой метод	- Низкая стоимость приборов, работающих по данному методу	- Низкая точность измерений
Хроматографический метод	- Высокая точность измерений	- Крупные габариты хроматографической установки; - Высокая стоимость установки; - Длительные испытания
Метод ближней инфракрасной (ИК) спектрометрии	- Высокая точность измерений; - Возможность проведения экспресс-анализа; - Автоматизация измерений	- Ограниченный спектр функциональных возможностей

Таким образом, проведя сравнительный анализ рассмотренных методов определения октанового числа, можно сделать вывод, что на сегодняшний день процессы определения параметров автомобильного топлива максимально автоматизированы, что позволяет избежать ошибок вследствие влияния человеческого фактора. Вместе с тем современное оборудование должно в точности воспроизводить условия испытания, регламентированные стандартными методиками.

В связи с этим, перспективными, с точки зрения организации контроля параметров автомобильного топлива, являются портативные спектрометрические приборы и методы, основанные на анализе инфракрасных спектров, в частности, в ближней инфракрасной области. Использование ИК-спектрометрии в настоящее время является общепринятым подходом при выполнении комплексных исследований состава различных нефтепродуктов.

Основными фирмами-разработчиками и производителями анализаторов на основе ИК-спектрометрии являются ABB Instrumentation and Analytical, французская приборостроительная компания Alliance Instrument, американская приборостроительная компания Analytical Spectral Devices, компании Brimrose Corporation, Zeltex Incorporated, а также австрийская компания Grabner Instruments. Все они специализируются на производстве промышленного контрольно-измерительного и аналитического оборудования, в частности, на производстве ИК-Фурье анализаторов состава нефтепродуктов для измерения характеристик моторного топлива, а также октанового числа бензина.

На российский рынок, в основном, поставляются мультитопливные портативные анализаторы MINISCAN IRXpert и ИК-Фурье портативные анализаторы IROX 2000 Gasoline (производство Grabner Instruments, Австрия). Из отечественных производителей можно выделить «Аналитика-Сервис» (Россия), который является изготовителем довольно востребованного анализатора топлива и масел SHATOX SX-300. Также активным производителем различных оптических покрытий всех видов для оптико-электронных каналов, работающих в видимой, ультрафиолетовой и ИК-областях спектра, выступает АО «НПО ГИПО» (Россия).

Известный принцип действия оптических анализаторов ИК-Фурье заключается в следующем: излучение преобразовывается в узкий пучок, далее он проходит через набор интерференционных фильтров, которые обеспечивают разделение излучения в соответствии со спектральными диапазонами длин волн. После этого разделенные пучки поступают на оптический прерыватель-коммутатор. Уровень оптического поглощения бензина α в каждом участке спектра изменяется с помощью оптической кюветы длиной L=5 см с исследуемым образцом бензина [6]. Далее происходит сведение в единый пучок, который попадает на

чувствительную площадку фотоприемника. В итоге сигнал обрабатывается и индицируется в цифровом виде. Предлагаемая последовательность обработки сигнала представлена на рисунке 1:

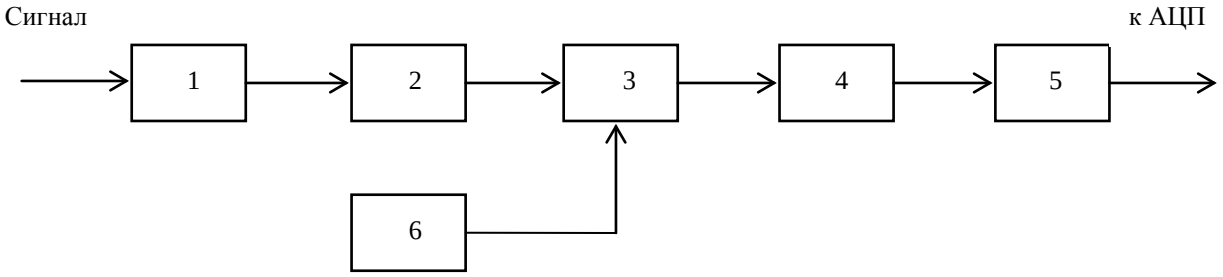


Рисунок 1 – Последовательность обработки сигнала в оптическом анализаторе ИК-Фурье
1 – детектор, 2 – предусилитель, 3 – автоматический усилитель, 4 – высокочастотный фильтр, 5 – низкочастотный фильтр, 6 – установочный сигнал

После того, как интерферограмма попала в детектор, она проходит в блок предусилителя, далее – автоматического усилителя, далее поступает через фильтры и затем оцифровывается в аналогово-цифровом преобразователе. После оцифровки сигнал передается на компьютер, где происходит его преобразование из интерферограммы в спектр.

Проанализировав классификации существующих методов определения октанового числа автомобильного топлива и соответствующих оптических датчиков, можно сделать вывод, что описанную проблему анализа состава автомобильного бензина с последующим определением его качества на основе метода анализа инфракрасных спектров в ближней ИК-области можно решить с помощью модернизации некоторых элементов в принципиальной схеме анализатора.

Действие некоторых из представленных в описании элементов осуществляются механически, что увеличивает риск повреждений не только одной детали, но и прибора в целом. В связи с этим, одним из элементов, предлагаемых в качестве модернизации структуры анализатора, является создание жидкокристаллической (ЖК) шторки, зависящей от подаваемого на нее напряжения. Так, установив на пути поляризованного света поляризационный светофильтр (поляризатор), с помощью изменения напряжения, которое приложено к жидким кристаллам, возможно управление количеством света, которое пропускает поляризатор. Данный принцип работы демонстрируется на рисунок 2:

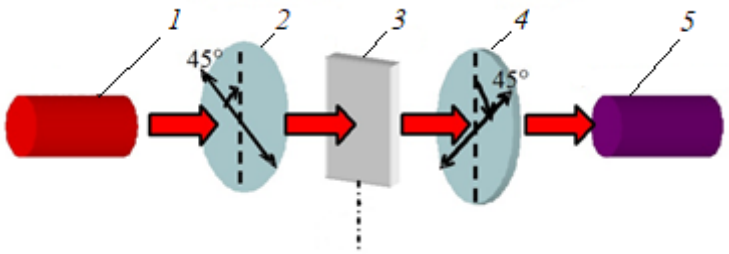


Рисунок 2 – Принцип работы ЖК-ячейки
1 – лазер, *2* – поляризатор, *3* – ячейка, *4* – анализатор, *5* - фотоэлемент

Согласно рис.1, с подачей конкретного напряжения на ячейку она становится непрозрачной. Тогда, вследствие прохождения света через делитель оптической мощности, один из пучков, в отличие от второго, попадает на ЖК-ячейку и далее не проходит, таким образом, через определенное время чередуясь со вторым. Вследствие этого можно утверждать, что такое решение значительно упрощает техническое обслуживание устройства. Данное предложение может быть использовано при проектировании анализатора качества автомобильного бензина, принцип работы которого основан на методе ближней ИК-спектрометрии, позволяющем провести оценку качества бензина с высокой точностью.

Таким образом, точность измерения оптической плотности анализируемого вещества в приборах, работа которых основана на данном методе, может достигать уровня $3 \cdot 10^{-5}$. При использовании кюветы для пробы бензина длиной 5 см соответствующая точность измерения коэффициента поглощения бензина будет составлять приблизительно $6 \cdot 10^{-6}$ $см^{-1}$ [6].

Так, основной тенденцией развития в данной сфере является расширение функциональных возможностей и повышение точности измерений за счет использования наиболее модернизированных элементов на базе существующих устройств для определения основных показателей качества автомобильного топлива. Данный вопрос важен не только для теоретического представления решения проблемы бензина низкого качества, но и для практического создания соответствующих анализаторов, способных быстро идентифицировать несоответствия, устранение которых поможет предотвратить нарушения в работе двигателя автомобиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Галимов, Ф.М.* Методы испытаний контроля качества авиационных горюче-смазочных материалов [Текст]: Учебное пособие / Ф.М. Галимов, Л.С. Яновский. – Казань: Изд-во КГТУ, 2010. – 393 с.

2. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 013/2011 О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту.

3. *Сафонов, А.С.* Автомобильные топлива [Текст] / А.С. Сафонов. - СПб.: НПИКЦ, 2002. — 264 с.

4. *Кудрявцев, Б.Б.* Применение ультраакустических методов в практике физико-химических исследований [Текст] / Б.Б. Кудрявцев. – М.,Л.: Гос. издат. технико-теоретической литературы, 1952. - 323 с.

5. *Некрасова Т.А., Астапов В.Н.* Акустический метод измерения вязкости жидких нефтепродуктов // Вестник СГАУ, выпуск 9, Самара, 2004. - с.54-58.

6. *Королев В.Н., Маругин А.В., Цареградский В.Б.* Метод определения детонационных характеристик нефтепродуктов на основе регрессионного анализа спектров поглощения в ближнем инфракрасном диапазоне // Журнал технической физики, вып. 9, том 70, Санкт-Петербург, 2000. – с.83-88.

PRINCIPAL DECISIONS ON OPTIMIZING THE DEVICE OF THE OPTICAL ANALYZER IR-FOURIER OF AUTOMOBILE PETROL

Mingalimova Regina

regishka1997@mail.ru

Supervisor: Svetlana Smirnova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

This article presents the main indicators of the quality of motor gasoline, which are regulated by the TR SU 013/2011. The following describes the characteristics of gasoline, affecting the correct operation of the engine of the car, and possible violations due to the use of low-quality fuel. Then a comparative table of the qualitative characteristics of the main methods for determining the quality indicators of automobile gasoline is presented, as a result of which the method of near infrared (IR) spectrometry is selected for further analysis. Then it is proposed to upgrade some elements of the gasoline analyzer concept, whose work is based on the method of IR-spectrometry.

УДК 616.6

ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ ДВУКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МОЧЕВЫДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Миннуллина А.М.
minnullina-alija2013@yandex.ru
Научные руководители: М.М. Тюрина, к.т.н., доцент,
А.А. Порунов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В статье рассмотрены особенности диагностики мочевыделительной системы. Показана необходимость контроля уростатических, уродинамических параметров совместно с электромиографическими сигналами. Предложен вариант концепции структурного построения двуканальной системы мониторинга мочевыделительной системы.

В настоящее время наблюдается рост урологических заболеваний по всему миру. Только в России каждый терапевт ставит диагноз "острый цистит" от 62 вплоть 1000 раз в году. Острая инфекция мочевых путей наблюдается у 1/3 женщин планеты. Гипертрофия предстательной железы встречается у 50 % 60-летних и 80 % 80-летних мужчин.

Проблема диагностики мочевыделительной системы (МВС) состоит в том, что существующие отечественные устройства для диагностики параметров мочевыделительной системы не удовлетворяют современным требованиям по быстродействию и достоверности постановки диагноза [1]. Это требует разработки новых современных диагностических технологий и медицинской техники, которые позволят успешно получать информацию о функциональном состоянии мочевых путей, а также определять патологические процессы, протекающие в мочевыделительной системе человека уже на стадии их возникновения и тем самым, выбрать правильное направление терапии. Кроме того, при проведении клинических исследований обследуются только уродинамические и уростатические характеристики, что оказывается в ряде случаев недостаточным для постановки диагноза. Отсюда следует проблема расширения состава информативных каналов и создание системы с расширенными функциональными возможностями.

Нарушения в функционировании мочевыделительной системы приводит к серьезным нарушениям в деятельности всего организма человека, вызывая патологические изменения в органах. С каждым годом растет количество людей, подверженных тем или иным заболеваниям мочевых путей, что говорит о нарастающей угрозе попадания данной категории болезней в группу социально значимых. В результате того, что функциональные нарушения возникают раньше явных морфологических изменений, исследование нижних мочевых путей является методом ранней диагностики заболеваний мочевыделительной системы мужчин, женщин и детей.

В настоящее время контролируется только уродинамические и уростатические параметры мочевыделительной системы, в то время как для повышения достоверности диагноза требует расширить пространство признаков патологических процессов за счет контроля функций детрузора и сфинктера на основе электромиографии, которая должна записываться синхронно с мочевыделительным актом (рис.1). Урофлоуметрия с одновременной регистрацией ЭМГ активности мышц тазовой диафрагмы считается высокочувствительным неинвазивным многофункциональным способом выявления патологического мочеиспускания. Неинвазивное обследование больных дает возможность в большинстве ситуации обнаружить отклонения на ранних его стадиях в исследуемых параметрах мочеиспускания, а кроме того дискоординацию работы мочевого пузыря и сфинктера мочеиспускательного канала [2].

В норме мочевой пузырь человека постепенно скапливает мочу, потом происходит мочеиспускание, при котором расслабляется мышцы мочевого пузыря и сокращается детрузор (мышца, волокна которой охватывают весь мочевой пузырь), накопленная моча

выделяется наружу. В период мочеиспускания убывание мочи медленный в начале, быстрота его нарастает в ходе выделения мочи, пока мочевой пузырь практически полностью не опустеет, потом темп вновь спадает.

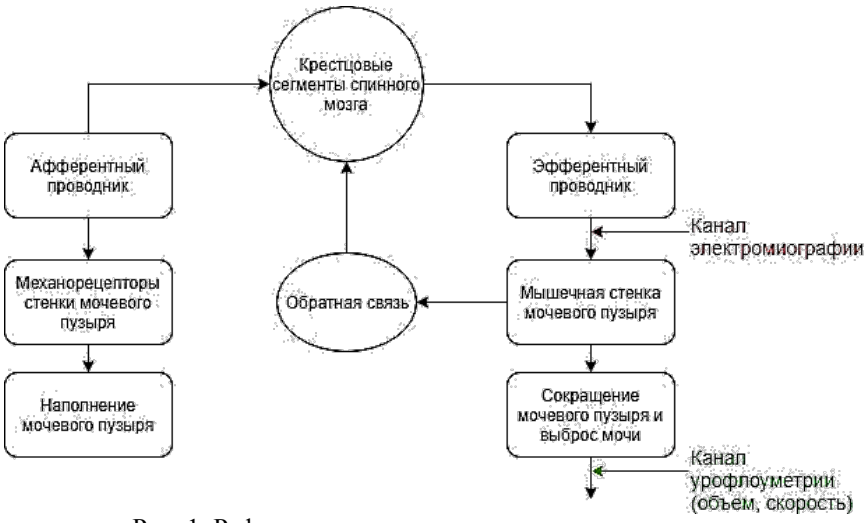


Рис. 1. Рефлекторная дуга процесса мочеиспускания.

Описанная концепция была положена в основу построения двуканальной системы мониторинга мочевыделительной системы, структурная схема которой представлена на рис. 2.

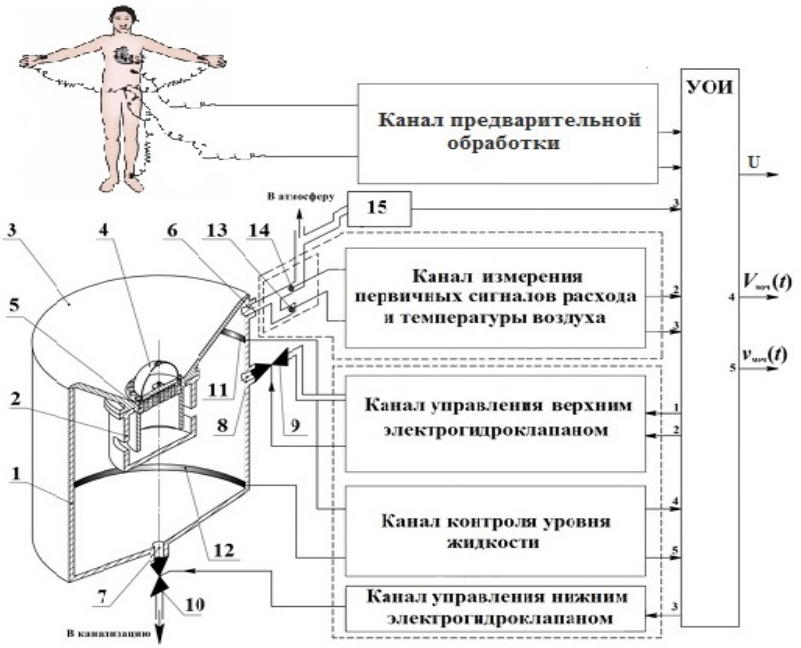


Рис. 2. Структурно-функциональная схема двуканальной системы мониторинга мочевыделительной системы: уростатики (объема), уродинамики (объемной скорости истечения мочи) и биопотенциалов мышц мочевыделительной системы [2].

Система включает в себя два информационных канала: урофлоуметрический (измерения параметров уростатики, уродинамики), электромиографический (измерения биопотенциалов мышц) и два вспомогательных канала: контроля уровня жидкости и самокалибровки.

В работу урофлоуметрического канала [2] положен принцип вытеснения воздуха непосредственно соприкасающегося с биологической жидкостью (мочой) из емкости для сбора. Объем воздуха, вытесненного из мочесборника биологической жидкостью в процессе мочеиспускания, обеспечивает определение основных параметров уродинамики – объемной скорости и объема выделенной мочи. При мочеиспускании поток мочи посредством воронки

попадает в мочесборник. При постепенном накоплении жидкости в мочесборнике происходит синхронное вытеснение такого же объема воздуха из сосуда через предусмотренное отверстие, в которое и помещается датчик. То есть объем мочи равен объему вытесненного воздуха. При этом отсутствует контакт измерительной части прибора с агрессивной средой. Использование в качестве чувствительных элементов датчика расхода струйно-конвективных преобразователей позволяет достигнуть разрабатываемому устройству высокую чувствительность и быстродействие, вследствие отсутствия механических подвижных элементов [3, 4]. По окончании обследования включается режим автоматической промывки элементов и полостей устройства (внутреннего, наружного стакана и частично нижней половины воронки). Режим промывки управляется посредством сигналов с емкостных датчиков уровня, сигнал с которых могут быть использованы для подачи, прекращения подачи из системы непрерывного водоснабжения и ее слива из устройства. После этого устройство для измерения параметров мочеиспускания для уродинамического мониторинга снова готово к следующей процедуре измерения.

Работа электромиографического канала синхронизируется с моментом начала мочеиспускания [5]. Электроды электромиографического канала используются для оценки состояния мышц мочевыделительных органов: детрузора, сфинктера, активность которых зависит от электроимпульсов, поступающих от головного и спинного мозга. Для того чтобы осуществить отведение электрического импульса от мышц к измерительной аппаратуре применяются специальные электроды, которые устанавливаются на область проекции детрузора – мышцы мочевого пузыря, благодаря которой происходит изгнание мочи, и на внутренний сфинктер мочевого пузыря. После проведения исследования приступают к оценке кривых, характеризующих мышцу в состоянии покоя, при ее рефлекторном напряжении и произвольной работе. Подсчитывается частота и амплитуда зубцов, продолжительность каждого зубца, равномерность частоты колебаний во времени, различия между амплитудами отдельных волн и т.д. На основании данных показателей судят о характере патологических изменений.

Таким образом, представленные исследования подтверждают актуальность разработки более совершенных технических методов и средств диагностики мочевыделительной системы, позволяющих проводить неинвазивное обследование больных, обнаруживать отклонения от нормы параметров мочеиспускания на ранних стадиях заболеваний, а также определять дискоординацию работы мочевого пузыря и сфинктера мочеиспускательного канала, что в целом позволит своевременно выделять группу риска при скрининг исследованиях населения. Предложенная концепция структурного построения двуканальной системы мониторинга мочевыделительной системы обладает повышенной точностью измерения и расширенным диапазоном, что дает возможность проводить исследования в широкой возрастной группе пациентов и высокую достоверность диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Миннуллина А.М., Дьячков К.В. Порунов А.А., Тюрина М.М.* Сравнительный анализ методов и средств уродинамического мониторинга и разработка системы измерения параметров мочевыделительных органов.// Материалы конференции XXIX Всероссийской НТК "Биомедсистемы – 2016". – Рязань. 2016. – С. 120-122.

2. *Махмуд, Абдулла Абушехади.* Электромиография мочевого пузыря и сфинктеров уретры при травмах и заболевании спинного мозга: автореферат дис. кандидата медицинских наук : 14.00.40. – Ташкент, 1990. – 21 с.

3. Пат. RU 2 643 110 C1 (МПК A61B 5/20 (2006.01)) Устройство для измерения параметров уростатики и уродинамики мочевыделительной системы /Авт.: *Миннуллина А.М., Порунов А.А., Тюрина М.М.* и др.; Заяв. 30.12.2016; Опубл. 30.01.2018; Бюл. № 4.

4. *Миннуллина А.М., Дьячков К.В. Порунов А.А., Тюрина М.М.* Результаты системотехнической разработки устройства для уродинамического мониторинга// XXX Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов

«Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2017». – Рязань: ИП Коняхин А.В., 2017. – С. 220-223.

5. *Миннуллина А.М.* Инженерные аспекты разработки и исследования базовых модулей урофлоуметра для мониторинга параметров мочевыделительной системы // Автоматика и электронное приборостроение: Всероссийская молодежная научно-техническая конференция, посвященная 85-летию КНИТУ-КАИ, 25-28 апреля 2017 г.: Материалы конференции. Сборник докладов. Казань: Изд-во «Бриг», 2017. – С. 177-181.

6. *Миннуллина А.М., Порунов А.А., Тюрина М.М.* Концепция построения перспективного урофлоуметра на основе новых физических принципов //VII-я Международная молодежная научная школа-конференция, 16-21 апреля 2018 г.: Тезисы докладов. Часть 2. М.: НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 376.

RATIONALE FOR DEVELOPMENT OF A TWO-CHANNEL SYSTEM MONITORING SYSTEM URINARY DETENTION SYSTEM

Minnullina A.

minnullina-alija2013@yandex.ru

Supervisors: M. Tyurina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

A. Porunov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

The article describes the features of the diagnosis of the urinary system. The necessity of measuring urostatic and urodynamic parameters together with electromyographic signals is shown. A version of the concept of the structural construction of a two-channel urinary system monitoring system is proposed.

УДК 618-7: 537.226.82

ПРИНЦИПЫ И СХЕМЫ КАНАЛА ТЕРМОГРАФИИ ВИДЕОЭНДОСКОПИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ГИСТЕРОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Муфаздалова А.Н., Тюрина М.М.

mufazdalova98@mail.ru

Научный руководитель: А.А. Порунов, к.т.н., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной работе представлен сравнительный анализ нескольких вариантов схемотехнический решений для построения температурного канала видеоэнодскопического комплекса на основе пироэлектрического датчика. Даны рекомендации по разработке его принципиальной электрической схемы для сканирования внутренней поверхности матки при гистероскопических исследованиях.

Охране здоровья женщин последние годы уделяют все большее внимание в связи с демографическим спадом. Гендерные различия влияют на течение многих болезней. Хоть продолжительность жизни женщин в среднем выше, чем у мужчин, с процентом заболеваемости все обстоит иначе. Женщины чаще обращаются за медицинской помощью, в частности из-за потребностей в области репродуктивного здоровья. Ввиду этого разработка диагностического оборудования для обследования женской репродуктивной системы очень актуальна. В данной работе рассматривается возможность расширения функционала гистероскопических исследований посредством введения канала термометрии в видеоэндоскопический комплекс.

Температура – важная характеристика функционального состояния биологических объектов и тканей, поэтому при диагностике является очень информативным параметром [3]. Как в доброкачественных, так и в злокачественных новообразованиях наблюдается повышение температуры. Это связано с тем, что в них увеличивается микроциркулярное русло, то есть образуется своя сосудистая система, кровь которой питает опухоль. Также это

можно отнести и к таким заболеваниям, как кистоз, полипоз, миома матки.

Принцип термометрической диагностики заключается в выявлении и определении границ патологического очага на основе градиента температур непосредственно прилегающей к здоровой ткани. В норме различие между точками не превышает 0,3 – 0,4°С. Необходимый диапазон измерения можно определить от 35 до 40°С [2].

Температурный канал в видеоэндоскопическом комплексе позволит проводить сканирование внутренней поверхности матки и визуализировать термограмму во время проведения гистероскопических исследований.

При выборе метода температурного контроля необходимо учитывать, что слабонагретые тела испускают коротковолновое излучение инфракрасного спектра, а 85% теплового исходящего от человека излучения как раз инфракрасное [3].

Проведя сравнительный анализ методов измерения градиента температур в заданном диапазоне и с учетом особенностей объекта контроля, наилучшим техническим средством для получения информации о температурном поле был выбран пирометр, так как достоинство этого датчика – бесконтактность измерения, а также он достаточно чувствителен для малых перепадов температур. Выбор пироэлектриков для создания бесконтактных датчиков температуры вполне очевиден, так как эти материалы обладают выраженным пироэлектрическим эффектом, который заключается в появлении электрического заряда на их поверхности при воздействии теплового излучения. Представить пироэлектрический датчик можно в виде конденсатора, у которого вместо обычного диэлектрика устанавливается пироэлектрик [1].

Когда коротковолновое ИК излучение вызывает изменение температуры (и, следовательно, создает некоторое напряжение) электрический заряд мигрирует от одной пластины к другой. Если к преобразователю не подключена внешняя схема (или подключена схема, имеющая очень высокий импеданс) («режим выходного напряжения»), то тогда напряжение, которое может быть измерено, представляет собой напряжение заряда «конденсатора». Если внешняя схема, которая имеет относительно низкий импеданс, подключена между пластинами («режим выходного тока»), то тогда протекает ток [4].

Для работы температурного канала, построенного на основе пироэлектрического датчика необходимо выбрать схему включения, которая будет обеспечивать достаточный уровень сигнала на выходе для дальнейшего преобразования аналого-цифрового преобразователя (АЦП). В данной статье представлен сравнительный анализ вариантов построения электрической схемы для пирометрического датчика.

Пироэлектрический преобразователь в режиме выходного тока вводят в схему усилителя тока, управляемого напряжением, в которой вместо существенного изменения напряжения между пластинами преобразователя заряд пропускают через резистор обратной связи имеющего высокий импеданс операционного усилителя, чтобы создать напряжение, которое образует выходной сигнал схемы. Под «высоким» импедансом понимают импеданс, составляющий, по меньшей мере, 10^7 Ом. На рис.1 показана простейшая схема включения пироэлектрического преобразователя в режиме выходного тока.

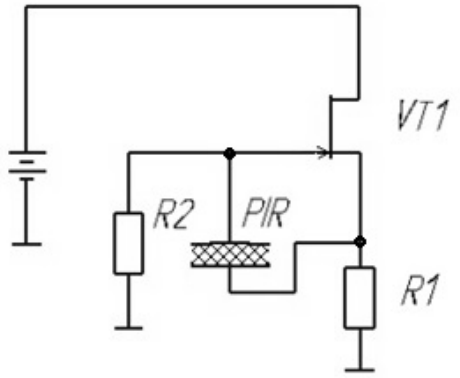


Рис.1. Простейшая схема включения пироэлектрического преобразователя (вариант №1).

Как это показано на рис.1, пирооэлектрический измерительный преобразователь (PIR) включен в межэлектродную схему, которая позволяет ему работать в режиме постоянного тока. Представленную схему можно рассматривать как схему контроля (управления) для пироэлектрического измерительного преобразователя. Кроме того, эта схема является буферной по импедансу (согласовывает импеданс) и усиливает сигнал с преобразователя.

Вместо существенного изменения электрического напряжения между пластинами (электродами) преобразователя, заряд пропускают через резистор для создания напряжения, которое образует выходной сигнал схемы.

В первом варианте, показанном на рис.1, PIR включен между истоком и затвором полевого транзистора VT1 с управляющим p-n-переходом. Источник питания, образованный при помощи одной или нескольких батарей, подключен к стоку полевого транзистора VT1. Ток истока полевого транзистора VT1 образует напряжение за счет протекания через выходной резистор R1. Напряжение, которое образуется также на межэлектродном резисторе R2, вызывает втекание тока назад в затвор полевого транзистора VT1, причем оба резистора R1, R2 подключены к земле, в то время как сам преобразователь является «плавающим» (то есть не имеет опорного напряжения сигнала, подключенного к земле) между истоком и затвором полевого транзистора VT1.

В описанной схеме полевой транзистор VT1 контролирует ток в цепи обратной связи, протекающий через межэлектродный резистор R2 в затвор полевого транзистора VT1 за счет изменения напряжения через выходной резистор R1, которое через заземленный узел создает такое же изменение напряжения через межэлектродный резистор R2. Компонент переменного тока (AC) выходного сигнала схемы, который может быть вычислен математически с достаточной точностью для отражения основной функции схемы путем умножения выходного тока преобразователя на сопротивление межэлектродного резистора R2, измеряют в цепи выходного резистора R1. Компонент постоянного тока (DC) выходного сигнала определен рабочим напряжением затвор-исток полевого транзистора VT1.

Предложенная структура межэлектродной схемы позволяет создать более высокое напряжение выходного сигнала по сравнению с обычными схемами, работающими в режиме выходного напряжения. Это позволяет использовать относительно дешевый полевой транзистор VT1 такого же типа, который используют в схемах, работающих в режиме выходного напряжения, вместо относительно дорогого имеющего высокий импеданс операционного усилителя.

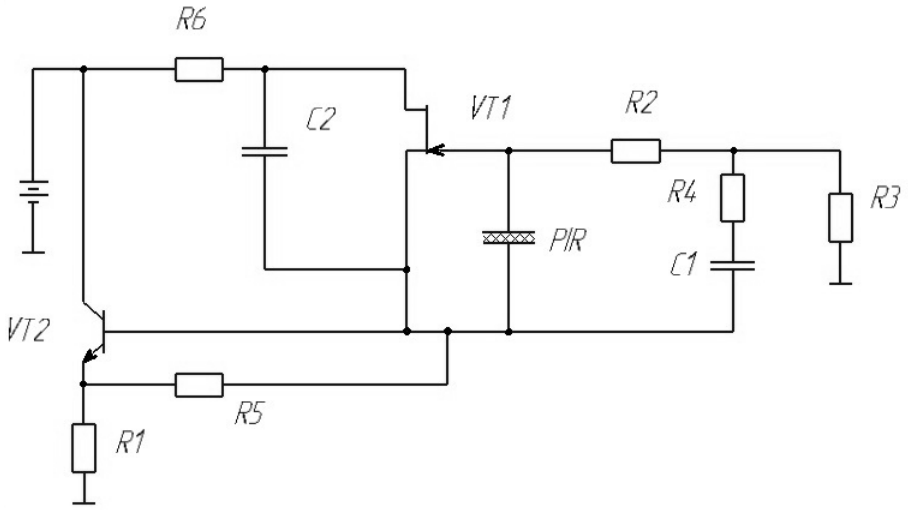


Рис.2. Усложненная схема включения пироэлектрического преобразователя (вариант №2).

На рис.2, преобразователь включен между истоком и затвором полевого транзистора VT1 с управляющим p-n-переходом, в результате чего источник опорного напряжения сигнала

схемы плавает относительно общей земли схемы. Источник питания подключен к стоку полевого транзистора VT1 через резистор R6.

В варианте №2 база транзистора VT2 подключена к измерительному преобразователю и к истоку полевого транзистора VT1, причем эмиттер транзистора VT2 подключен к заземленному выходному резистора R1, а коллектор транзистора Q2 подключен к источнику питания и связан со стоком полевого транзистора VT1 при помощи резистора R6. За счет дополнительного усиления транзистора VT2 и по причине того, что его база подключена к истоку полевого транзистора VT1, может быть использован выходной делитель напряжения обратной связи, который образован резисторами R3, R4 и конденсатором C1, для усиления главного межэлектродного напряжения, развиваемого на межэлектродном резисторе R2, например, в 10 раз, причем это напряжение поступает на затвор полевого транзистора VT1 через межэлектродный резистор R2. Таким образом, переменная компонента выходного сигнала схемы (измеренная на выходном резисторе R1) может быть в 10 раз больше, чем в схеме, показанной на рис.1, при одинаковой энергии возбуждения преобразователя для обеих схем.

PIR датчик термометрического канала используется также как готовый модуль (рис.3), в который входят: один или два чувствительных элемента (пироэлектрик, изображенный в виде конденсатора, в котором в качестве диэлектрика используется пироэлектрик) и полевой транзистор.

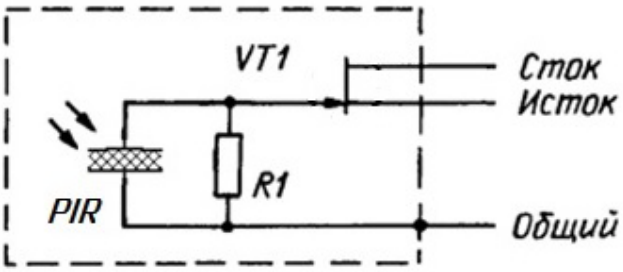


Рис.3. Модульное исполнение пироэлектрического датчика.

Используя модульное исполнение, была разработана электрическая схема с применением операционных усилителей, представленная на рис.4. После получения сигнала его необходимо усилить, для этого используется усилительный каскад, построенный на операционных усилителях DA1, DA2. В связи с необходимостью подавления высокочастотных помех сигнал после усиления поступает на фильтр нижних частот, построенный на DA3, эффективно пропускающий частотный спектр сигнала ниже частоты среза и подавляющий частоты сигнала выше этой частоты.

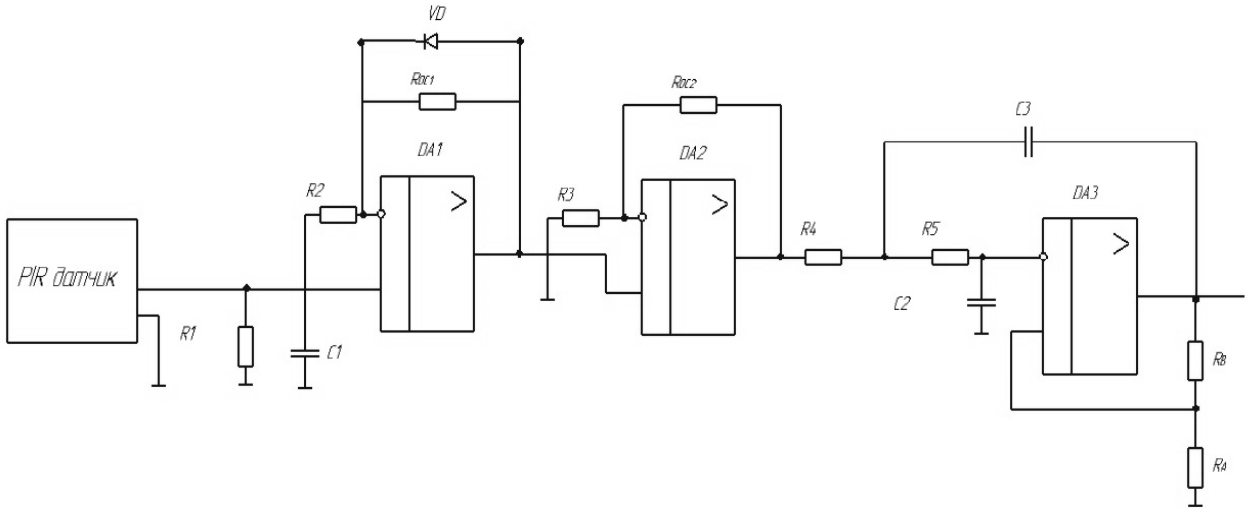


Рис.4. Электрическая схема включения PIR-модуля системы

Представленная на рис.4 схема в отличие от предыдущих вариантов позволяет не только повысить уровень сигнала, но и значительно ослабить высокочастотные помехи и за счет этого повысить точность преобразования и чувствительность.

Таким образом, представленный сравнительный анализ схем включения пироэлектрического датчика позволяет обоснованно выбрать один из вариантов, на основе предъявленных к нему точностных требований, и разработать принципиальную электрическую схему температурного канала видеоэндоскопического комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Виглеб Г.* Датчики/ Виглеб Г.; пер. с нем. М.А. Хацериова. – Москва: Мир, 1998. С.164.

2. *Анисимова Н.В.* Термометрия как метод функциональной диагностики/ Известия ПГПУ. – 2007. - № 5. – С. 36-38.

3. *Потехина Е.П.* Причины изменения локальной температуры тела [Электронный ресурс]: науч. журн. / Медицинский альманах. – Общество с ограниченной ответственностью «Ремедиум Приволжье, 2010. – Режим доступа: https:// cyberleninka.ru /article/ v/prichiny-izmeneniya- lokalnoy-temperatury-tela .

4. Патент на изобретение РФ № 2390882 16.03.2005 (по заявке 2006135801/28 от 16.03.2005). «Межэлектродная схема для пьезоэлектрического измерительного преобразователя»/Авт. Мико Эрик Скотт (US) . Опубл. в бюл. № 15, 2010.

PRINCIPLES & SCHEMES OF THE THERMOGRAFY CHANNEL OF THE VIDEO-ENDOSCOPIC COMPLEX FOR THE HYSTEROSCOPIC STUDIES

Mufazdalova A., Tyurina M.

mufazdalova98@mail.rul

Supervisor: A. Porunov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

This paper presents a comparative analysis of several options for circuit design solutions for constructing a temperature channel of a video-endoscopic complex based on a pyroelectric sensor. Recommendations on the development of its electrical circuit concept for scanning the inner surface of the uterus during hysteroscopic studies are given.

УДК 620.1.08

ОБЗОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ И ГАЗА. ПРИМЕНЕНИЕТЕРМОАНЕМОРЕЗИСТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В РАСХОДОМЕРАХ

Мухамитов И.Р., Рахимбердиева С.Р.

advance996@gmail.com

Научный руководитель: С.В. Смирнова, к.т.н.

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

Проделанный анализ направлен на сравнение наиболее распространенных методов измерения расхода с обоснованием выбора расходомера на основе термоанеморезистивного преобразователя как наиболее перспективного. Представлены основные преимущества и недостатки каждого из методов, а также описан принцип работы данных измерительных устройств. Рассмотрение технических характеристик термоанеморезистивного датчика OutOfLiquid Швейцарской компании IST.

На сегодняшнем рынке существует множество разновидностей приборов для учета расхода жидкости или газа, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки [1]. Тенденция постоянного роста рынка средств учета расхода жидкости или газа, обусловлена потребностью в надежном и высокоточном измерительном устройстве. Также, со стороны потребителей энергоресурсов растет спрос на более точную продукцию, это связано с тем,

что ужесточается контроль за эффективным и рациональным использованием энергетических ресурсов.

При выборе расходомера нужно исходить из требований, которые будут удовлетворять потребителя. Необходимо учитывать целесообразность высокой точности измерения, срока службы прибора. Немаловажным фактором является условие эксплуатации измерительного устройства. К примеру, электромагнитный метод не позволяет производить измерения в газовой среде. Кроме того, необходимо учитывать особенности узлов учета, а именно, режимы течения, его конструктивные особенности, параметры состояния и физико-химические показатели вещества [2].

В данной работе рассмотрены наиболее распространенные методы измерения расхода на примере расходомеров, которые применяются в России и за рубежом.

Самым распространенным методом измерения расхода газов считается *метод переменного перепада давления*. Главная идея метода заключается в измерении перепада давления до и после сужающего устройства. При этом в трубопроводе устанавливается сужающее устройство с целью создания перепада давления до и после него. Погрешность измерения расхода зависит от погрешностей определения коэффициента истечения, коэффициента расширения, измерения перепада давления, плотности, средств измерения температуры и абсолютного давления. Главным недостаткомуказанного способа является необходимость применения сверхчувствительного электронного манометра. Помимо этого, эти расходомеры имеют ряд других недостатков: ограниченный диапазон измерений, неравномерность шкалы как следствие квадратичной функциональной зависимости между расходом и перепадом давления, а также инерционность, которая зависит от длины соединительных трубок.

В основе устройства *электромагнитных расходомеров* – закон электромагнитной индукции, известный как закон Фарадея. Когда проводящая жидкость, например вода, проходит через силовые линии магнитного поля, индуцируется электродвижущая сила. Она пропорциональна скорости движения проводника, а направление тока – перпендикулярно направлению движения проводника[7].

В электромагнитных расходомерах жидкость течет между полюсами магнита, создавая электродвижущую силу. Прибор измеряет напряжение между двумя электродами, рассчитывая тем самым объем проходящей через трубопровод жидкости. Это надежный и точный метод, потому что сам прибор не влияет на скорость течения жидкости, а за счет отсутствия движущихся частей оборудование долговечное.

Преимущества электромагнитных расходомеров: умеренная стоимость; отсутствиеподвижныхи неподвижных частей в поперечном сечении; большой динамический диапазон измерений.

Недостатки: на работу прибора влияют магнитные и проводящие осадки.

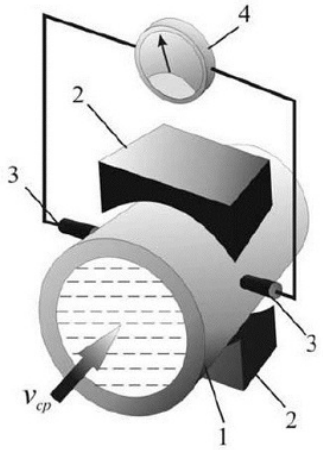


Рис.1.Принцип работы электромагнитного расходомера:
1 – трубопровод; 2 – катушки индуктивности; 3 – электроды; 4 –измерительный прибор.

В конструкции *ультразвуковых расходомеров* есть передатчик ультразвуковых сигналов (УЗС). Когда жидкость движется по трубопроводу, происходит снос ультразвуковой волны. Из-за этого меняется время, за которое сигнал от передатчика достигает приемника. Время прохождения увеличивается против потока жидкости и уменьшается, если ультразвуковой сигнал идет по направлению потока. Ультразвуковые расходомеры рассчитывают объемный расход жидкости на основе разности времени прохождения УЗС по течению потока и против него – эта разность пропорциональна скорости движения и объему воды [8].

Достоинства ультразвуковых расходомеров: невысокая стоимость;отсутствие подвижныхи неподвижных частей в поперечном сечении; средний динамический диапазон измерений; возможность монтажа на трубопроводы большого диаметра.

Недостатки: чувствительность измерений к отражающим и поглощающим ультразвук осадкам; чувствительность к вибрациям; чувствительность к перекосам потока для однолучевых расходомеров.

Вихревые расходомеры измеряют частоту колебаний, которые возникают в потоке жидкости или газа, когда они обтекают препятствия. При обтекании препятствий образуется вихрь, от которого приборы и получили свое название [4].

Преимущества: отсутствие движущихся частей.

Недостатки: механические препятствия в сечении расходомера; малый динамический диапазон; температурная чувствительность; неустойчивость характеристик при осадках на теле обтекания; влияние вибраций на результаты измерений.

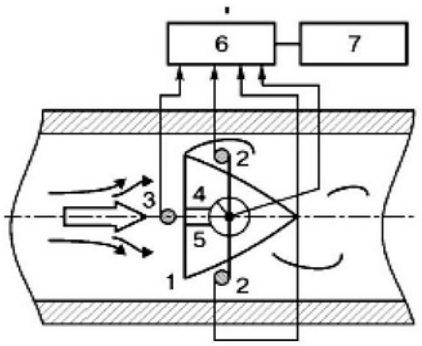


Рис.2.Принцип работы вихревого расходомера:
1 – тело обтекания; 2 – преобразователь пульсаций давления; 3 – преобразователь избыточного давления; 4 – термопреобразователь; 5 – отверстия; 6 – плата цифровой обработки; 7 –вычислитель.

Тахометрические расходомеры измеряют скорость вращения, количество оборотов крыльчатки или турбины в потоке воды, газа или пара. Принцип действия не меняется в зависимости от того, установлена ли в приборе крыльчатка или турбина; разница только в том, что ось вращения крыльчатки находится перпендикулярно движению потока, а турбины – параллельно потоку жидкости или газа. Примером такого расходомера является патент № 2457440 РФ авторов Смирновой С.В. и Рахимбердиевой С.Р. [6].

Преимущества: невысокая стоимость, работают без источника питания.

Недостатки: механические препятствия в сечении расходомера, малый динамический диапазон, неустойчивость измерений, невысокая надежность, примеси и посторонние предметы в воде влияют на результаты измерений, небольшой срок эксплуатации.

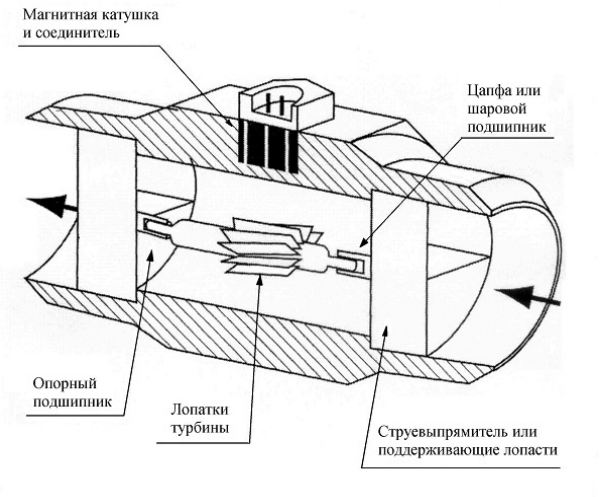


Рис.3. Принцип работы тахометрического расходомера

Тепловыми называются расходомеры, основанные на измерении зависящего от расхода эффекта теплового воздействия на поток или тело, контактирующее с потоком. По характеру теплового взаимодействия с потоком тепловые расходомеры подразделяются на следующие основные типы: термоанемометрические, термоконвективные и калориметрические. Однако на практике, чаще всего встречаются приборы, основанные на термоанемометрическом принципе измерения.

Принцип работы термоанемометрических расходомеров построен (рис.4) на зависимости потери тепла непрерывно нагреваемого тела и скоростью газа или жидкости, в которых это тело находится. Термоанемометры предназначены для измерениялокальной скорости и ее вектора. Они находят применение в устройствах для измерения расхода, если известно соотношение между локальной и средней скоростью потока.

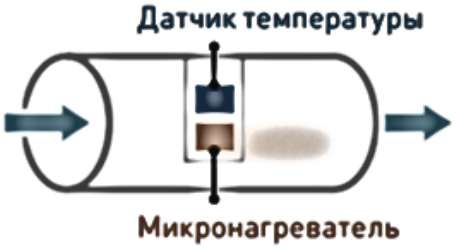


Рис. 4. Схематермоанемометрического расходомера.

В прибор конструктивно входят два чувствительных термальных элемента: нагреватель и датчик температуры. Один из них измеряет истинную температуру газового потока, не зависящую от скорости. Другой чувствительный термальный элемент нагревается до постоянной температуры. Таким образом, создается начальная разность температур между показаниями. Если движение отсутствует – разность между показаниями датчиков постоянная. Как только скорость потока начинает увеличиваться, часть теплоты от нагретого датчика уносится. Охлаждающий эффект моментально компенсируется увеличением силы тока, проходящим через нагретый преобразователь [9].

Степень нагрева чувствительного элемента в проточном канале зависит от скорости протекания жидкости или газа, то есть, чем больше скорость потока протекает через трубопровод, тем сильнее степень нагрева чувствительного элемента. Изменение силы тока чувствительного элемента пропорционально охлаждающему эффекту, что в свою очередь и есть мера массового расхода вещества в трубопроводе.

Достоинствами этих устройств является: большой диапазон скоростей, высокое быстродействие, возможность измерения пульсирующих и малых расходов, отсутствие движущихся частей, минимальные потери давления в потоке, а также получение массового расхода.

Недостатки: из-за динамических нагрузок первичные преобразователиломаются, чувствительный элемент контактирует со средой, имеется постоянный расход электроэнергии на нагрев.

В настоящее время существует очень много различных компаний, занимающихся изготовлением датчиков. Одна компания может выпускать несколько видов датчиков, для измерения различных параметров. Обычно производитель продукции, выпускающий какое-либо устройство, при подборе компонентов устройства, исходит от условий эксплуатации прибора, и факторов, действующих на прибор(шум, агрессивная среда, высота, поверхность и т.д.)

Чтобы изготовить расходомер газа на основе термоанеморезистивного преобразователя (ТАРП), следует учесть, что ТАРП должен быть погружен в поток газа (жидкость), для более точного измерения, однако мы понимаем, что среда может быть агрессивной и корпус датчика должен быть устойчивым к агрессивной среде (обычно в таких случаях используют нержавеющую сталь или стеклокерамику) и абсолютно герметичным (по технике пожарной безопасности).

ТАРП, применяемый в разрабатываемом расходомере, разработан Швейцарской компанией IST и называется OutOfLiquid. Именно он рекомендуется для агрессивных сред и содержащих воду жидкостей. Данный элементвыполненкак небольшая трубка из нержавеющей стали, на внешней стенке которой размещены нагреватель (термосопротивление Pt50) и датчик температуры (термосопротивление Pt1000), таким образом термосопротивления изолированы от измеряемой среды [9].

На рис.5 представлена схема включения датчика OutOfLiquid.

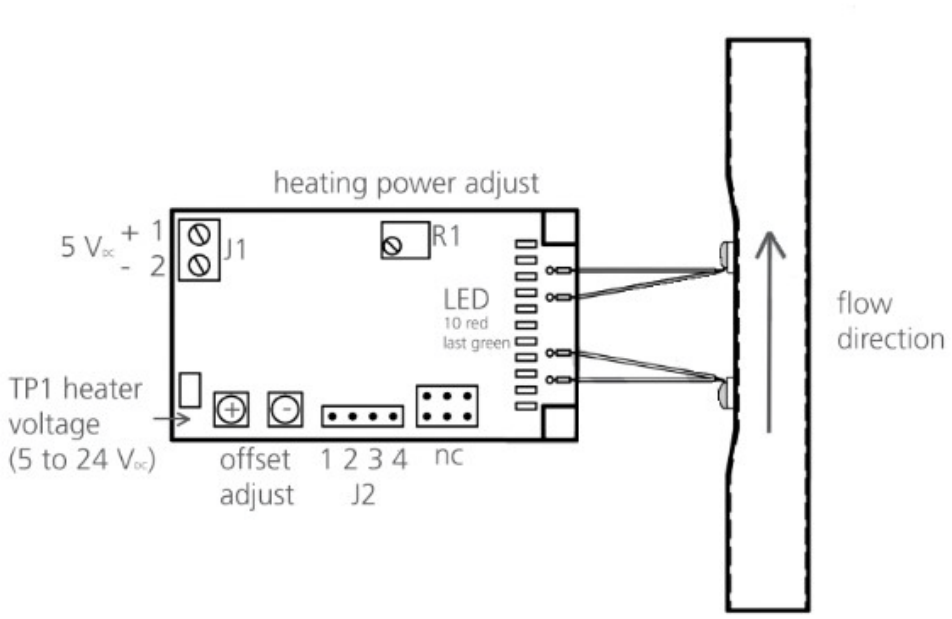


Рис. 5. Схема включения датчика OutOfLiquid.

Технические характеристики датчика представлены в таблице 1.

Таблица1

Технические характеристики датчика OutOfLiquid

Диапазон измерений	0..3000 мл/мин (≈ 4 м/с)
Время прогрева	<20 сек
Длина трубки	40 мм
Время отклика	<300 мс
Наружный диаметр	4 мм
Рабочий температурный диапазон	от -50 °С до +180 °С.

Проведенный анализ выявил основные преимущества и недостатки наиболее распространённых методов измерения расхода. В настоящее время разработчики расходомеров стремятся исключить из их конструкции подвижные элементы. При использовании термоанеморезистивного преобразователя на больших расходах характеристика выходного сигнала от входного сигнала «плывет». В результате этоприводит к снижению верхнего диапазона измерения. Для этого в расходомере применяется микроконтроллерная обработка верхнего диапазона измерения, чтобы достичь требуемой точностиизмерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. МИ 3082-2007. Выбор методов и средств измерений расхода и количества потребляемого природного газа в зависимости от условий эксплуатации на узлах учета. Рекомендации по выбору рабочих эталонов для их поверки. Казань. 2007. с. 39.
2. *Кремлевский П.П.* Расходомеры и счетчики количеств веществ: Справочник: Кн.1.– 5-е изд.,перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2002. с. 293–342. (409 с.)
3. *Кремлевский П.П.* Расходомеры и счетчики количеств веществ: Справочник: Кн.2 / Под общ. ред. Е.А. Шорникова. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004. с. 65–100, 281-294, 302-331, 338-372. (412 с.)
4. ООО "ПРАМЕНЬ" информационная торговая система URL: http://npopramen.ru/information/other-flowmeters/43-hydrodynamic-methods/10-vortex-flowmeters (дата обращения 22.06.2017).
5. *Р.Н. Каратаев.* Измерение малых и микрорасходов жидкости и газа в промышленности: Монография. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2004. 236 с.
6. Патент №2457440. Смирнова С.В., Рахимбердиева С.Р. опубл. 27.07.2012, Бюл. №21.-16 с.: ил.
7. URL: http://fb.ru/article/235282/elektromagnitnyiy-rasho-domer-printsip-deystviya-i-metrologicheskaya-harakteristika (дата обращения 27.06.2019).
8. ЭлектроТехИформ информационная торговая система URL: http://www.eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_529.html (дата обращения 27.06.2019).
9. URL: http://efo-sensor.ru/datchiki-skorosti-potoka-sploshnih-sred.html

OVERVIEW OF METHODS AND MEASURES FOR FLOW AND GAS FLOW MEASUREMENT. APPLICATION OF A THERMO-EMRESISTENT CONVERTER IN A FLOWMETERS

Mukhamitov I., Rakhimberdiyeva S.
advance996@gmail.com
Supervisor: S. Smirnova, Candidate of Technical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The analysis done is aimed at comparing the most common flow measurement methods with the rationale for choosing a flow meter based on a thermo-anemoresistive transducer as the most promising one. The main advantages and disadvantages of each of the methods are presented, and the principle of operation of these measuring devices is

described. Consideration of the technical characteristics of the thermal-resistance-resistance sensor Out Of Liquid of the Swiss company IST.

УДК 612.792

ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЛАЖНОСТИ КОЖНОГО ПОКРОВА

Печников М.С.
turina_m@mail.ru
Научный руководитель: М.М. Тюрина, к.т.н., доцент
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань*)

Влажность кожи является одним из основных параметров, характеризующих ее состояние. В статье рассмотрены методы измерения влажности кожи и представлен вариант структурного построения измерителя влажности кожного покрова.

Кожа – это не только самый большой по площади орган человеческого тела, но и самая эффективная защита от внешних раздражителей. В коже выделяют два слоя: поверхностный – эпидермис и глубокий – дерма, или собственно кожа. Эпидермис представлен многослойным плоским ороговевающим эпителием, в котором выделяют пять основных слоев: базальный, шиповатый, зернистый, блестящий и роговой. Толщина эпидермиса неодинакова. На бедре, плече, предплечье, груди и шее он тонкий (0,02-0,05 мм), а на местах значительной физической нагрузки (подошва, ладони) он имеет толщину 0,5-2,4 мм [2]. В отличие от всех остальных слоев эпидермиса, роговой слой состоит из лишенных ядра, богатых белками корнеоцитов, расположенных в упорядоченной водно-липидной матрице и плотно упакованных в 15-20 слоев. Такая структурная неоднородность – основа барьерной функции кожи [3].

Содержание воды в эпидермисе давно признано критичным для сохранения пластичности кожи и предотвращения симптомов сухости. Вода из более глубоких слоев кожи движется вверх, увлажняет роговой слой и со временем теряется за счет испарения. Постоянное обновление клеток обусловливает существование надежного барьера между внутренней средой организма и внешней средой. Если содержание воды в роговом слое падает ниже 20% в течение длительного периода времени, то ферменты, задействованные в нормальном процессе слущивания корнеоцитов, становятся неспособны выполнять свои функции, и процесс упорядоченного обновления эпидермиса нарушается, переходя на цикл, характерный для сухой кожи [4].

Существует большое количество методов и средств измерения параметров и оценки состояния кожного покрова, которые различаются физическими способами их реализации. Исходя из этого различают акустические методы, оптические методы, механические методы и электрические методы.

Для измерения влажности кожного покрова является метод оценки трансэпидермальной потери воды (ТЭПВ) и метод корнеометрии. Метод ТЭПВ основан на измерении парциального давления воды в замкнутой камере с одним датчиком влажности. При прикладывании камеры к коже происходит постепенное увеличение в ней парциального давления воды. Измеряется прирост парциального давления в камере за определенный промежуток времени. Метод оценки ТЭВП наиболее объективен для оценки липидного барьера в отношении сохранения жидкости. Недостатком этого метода является подверженность влиянию таких факторов, как температура и влажность окружающей среды

Наиболее часто для измерения влажности кожного покрова наиболее часто используют электрические методы, определяющие электрические свойства кожного покрова. К таким свойствам относят электрическое сопротивление, электрическую активность, проявляющуюся в форме изменений разности потенциалов и электрическую емкость диэлектрической среды.

Посредством метода корнеометрии степень увлажнения исследуемого участка кожного покрова оценивают по изменению диэлектрической постоянной, формируемой в результате колебаний содержания воды в поверхностных слоях кожи. С помощью датчика для корнеометрии измеряют электрическое сопротивление кожи. Это осуществляется следующим образом. Через конденсатор под стеклянным покрытием проходит ток с частотой 0,9-1,2 мГц, который формирует электрическое поле, проникающее в кожу. Глубина проникновения электрического поля в кожу не превышает 10-20 нм и затрагивает только роговой слой, поскольку роговой слой наиболее чувствителен к изменению водного баланса. Емкость конденсатора будет зависеть от диэлектрической постоянной рогового слоя, которая изменяется в зависимости от содержания воды в эпидермисе. Чем выше гидратация, тем ниже сопротивление электрическому току.

Анализ патентно-реферативных материалов по теме исследования позволит разработать струтурную схему устройства, приведенную на рис.1.

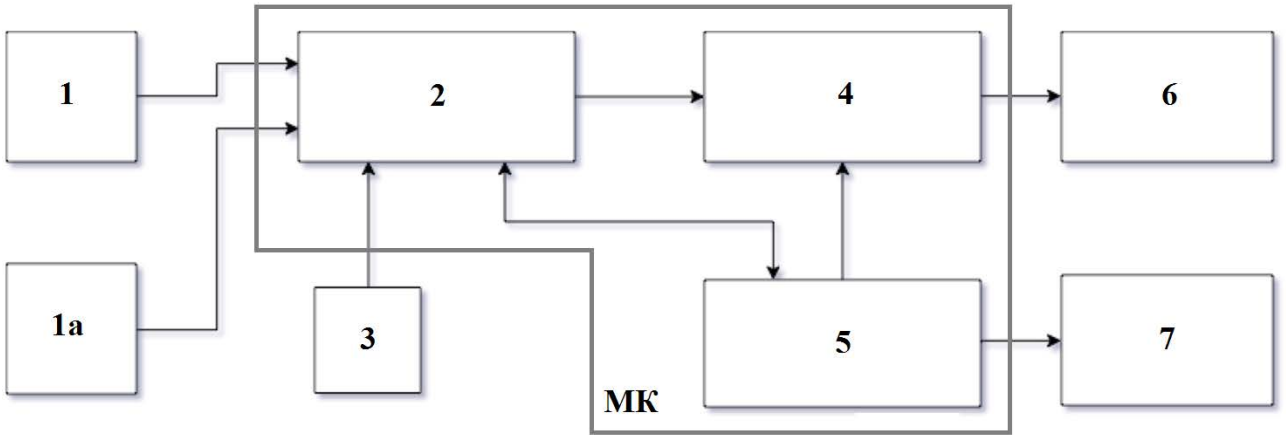


Рис. 3. Структурная схема измерителя влажности кожного покрова:
1 – датчик влажности; 1а – датчик температуры; 2 –управляющий блок; 3 – блок питания;
4 – блок управления дисплеем; 5 – вычислительный блок; 6 – ЖК дисплей; 7 – динамик.

Измеритель влажности кожи содержит измерительные блоки: датчик влажности и датчик температуры, на выходе которых формируются электрические сигналы, пропорциональные влажности и температуре. Управляющий блок 2, блок управления дисплеем 4 и вычислительный блок 5 выполнены на базе микроконтроллера, с которого информация об измеренном значении влаги поступает на ЖК дисплей, и на динамик, который сигнализирует об окончании измерения. На динамик также будет выдаваться сигнал для привлечения внимания пользователя, в случае, когда измеряемый сигнал ниже первого порогового значения.

В управляющем блоке осуществляется оценка обработка измеренных значений показателей влажности в соответствии с пороговыми значениями. Первое пороговое значение соответствует 25% от значений измеренных датчиками, при этом максимальная и минимальная информация, полученная с датчиков, определяется соответственно, как 100% и 0% содержания количества влаги в коже. Сигнал, выдаваемый с датчиков, и содержание влаги в коже являются линейно зависимыми. Предварительно заданное второе пороговое значение составляет 35%, третье пороговое значение составляет – 40%. На ЖК дисплей, помимо, измеренного значения влажности кожи, выводится также информация о том, в каком диапазоне находится на данный момент количество влаги, что упрощается формирование рекомендаций о необходимости применить какие-либо действия пользователю по увеличению влажности.

Таким образом, в статье представлены результаты по исследованию строения кожи, которые позволили определить, что роговой слой отвечает за сохранение влаги в коже. Проведенный анализ методов и средств исследования кожи позволил обосновать метод

корнеометрии для измерения влажности кожного покрова. В результате патентно-реферативного поиска был проведен анализ существующих способов и устройств, что помогло определить вектор направления разработки измерителя влажности кожного покрова и разработать его структурно-функциональную схему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Федюкович Н.И.* Анатомия и физиология человека: Учебное пособие. Изд. 2-е. – Ростов н/Д.: «Феникс», 2003. – 416 с.

2. *Афанасьев Ю.И., Юрина Н.А., Котовский Е.Ф. и др.* Гистология: Учебник. Изд. 5-е. – М.: Медицина, 2002. – 744 с.

3. *Красней Е.З.* Строение и функции кожи. [Электронный ресурс] Российский журнал кожных и венерических болезней – 2013. – №2. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-predstavleniya-o-strukture-i-funktsiyah-epidermisa.

4. *Гусев В.Г, Мустафин Т.Н*. Информационно-измерительные и управляющие системы для оценки физических свойств кожного покрова человека. – Уфа: УГАТУ, 2009. – 653 с.

5. *Гусев В.Г, Демин А.Ю., Мирина Т.В.* Электрические свойства кожного покрова человека. – Уфа.: Вестник УГАТУ, 2014. - 190 с.

6. *Thoma. P.A. Ca*pacitance humidity-sensing transducer. Уфа: УГАТУ, 2008. – 323 с.

7. *Devproshad K.* Proton transport property in supported nafion nanothin films by electrochemical impedance spectroscopy. Journal of Electrochemical Society, 2014. – 216 с.

8. *Воробей А.М., Рымарев Д.В., Потапов А.Л., Давыдов М.В. и др.* Емкостной датчик встречно-штыревого типа для диагностики избыточной влажности кожи человека // Приборы и методы измерений, №. 2(7). – 2013. – С.52-57.

SKIN COVER MOISTURE METER

Pechnikov M.

turina_m@mail.ru

Supervisor: M. Tyurina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

Skin moisture is one of the main parameters characterizing its condition. The article describes the methods of measuring skin moisture and presents a variant of the structural construction of the skin moisture meter.

УДК 625.768.5

МОБИЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СНЕГОПЛАВИЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Потапов К.А.[1], Мушарапов Р.Н.[2]

grotesk74@mail.ru

Научный руководитель: С.В. Смирнова[2], к.т.н., доцент

([1]Казанский (Приволжский) федеральный университет,

[2]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, Казань)

В работе рассматривается проблема загрязнения и переработки снега и возможные способы её решения. Разработана мобильная плавильная установка, осуществляющая физико-химическую очистку воды.

В Казани стабильный снежный покров может наблюдаться вплоть до 150 дней, это уже бросает вызов коммунальным службам, которые должны производить не только уборку, но и утилизацию снега. Однако существует и скрытая проблема – загрязнение снега различными химическими веществами. Опасность загрязнение представляет в период таяния последних снежных слоёв, когда все загрязнители резко и в больших количествах попадают в почву и водоёмы. Усугубляет ситуацию создание снежных свалок, их таяние сравнивается с залповым выбросом сточных вод на большой территории [1].

Цель данной работы - разработка способа уборки, утилизации и переработки снежных масс, собираемых с урбанизированных территорий. Для достижения этой цели необходимо выполнить следующие задачи:

- анализ методов физико-химической очистки;
- разработка структурной схемы установки;
- защита интеллектуальной собственности;
- создание конструкторских документов;
- изготовление опытного образца и его испытание;
- доработка и оптимизация установки.

Мониторинг степени загрязнённости снежных свалок Казани и других городов в Татарстане производится министерством экологии и рационального природопользования РТ. Превышение предельно допустимой концентрации было выявлено по нитритам, фосфатам, фенолам, фторидам, нефтепродуктам, по железу, меди, цинку, алюминию, марганцу, ртути, никелю, кобальту. Высокие показатели наблюдаются по вмешенным веществам и по таким показателям, как химическое и биологическое потребление кислорода.

Так, содержание соединений железа в различных пробах превышает ПДК в 55-293 раза, меди в 36-110 раз, марганца в 11-58 раз. Особое место в списке загрязнителей занимают нефтепродукты, для которых кратность превышения ПДК достигает 278-8186 раз [2].

Полный цикл переработки снега состоит из следующих шагов:

1. Плавление снега, очистка от крупных примесей,
2. Механическая очистка от песка, взвешенных частиц и грубодисперсных примесей,
3. Физико-химическая очистка жидкости,
4. Биосорбционная очистка микроорганизмами от некоторых органических загрязнителей,
5. Обеззараживание, которое является следствием применения биосорбции,
6. Сбор очищенной воды или её слив.

На сегодняшний день разработано множество способов и устройств для проведения физико-химической очистки жидкостей, исключающих необходимость проведения других типов очистки, поэтому в данной работе будет рассмотрена флотация и окисление. Флотация осуществляется для сбора грубодисперсных взвешенных частиц на поверхности пузырьков газа, образующих на поверхности очищаемой жидкости пену, которую можно удалить вместе с взвешенными частицами механическим путём. Под окислением, как методом химической очистки, подразумевается окисление опасных загрязнителей в менее вредные или безвредные вещества [3].

Для проведения физико-химической очистки был разработан гидроциклон, предназначенный для очистки промышленных сточных вод от загрязняющих взвешенных веществ, а также фенолов, нефтепродуктов, ПАВ (поверхностно-активных веществ) и может быть использована в машиностроительной, приборостроительной, энергетической отраслях, для очистки рабочих жидкостей.

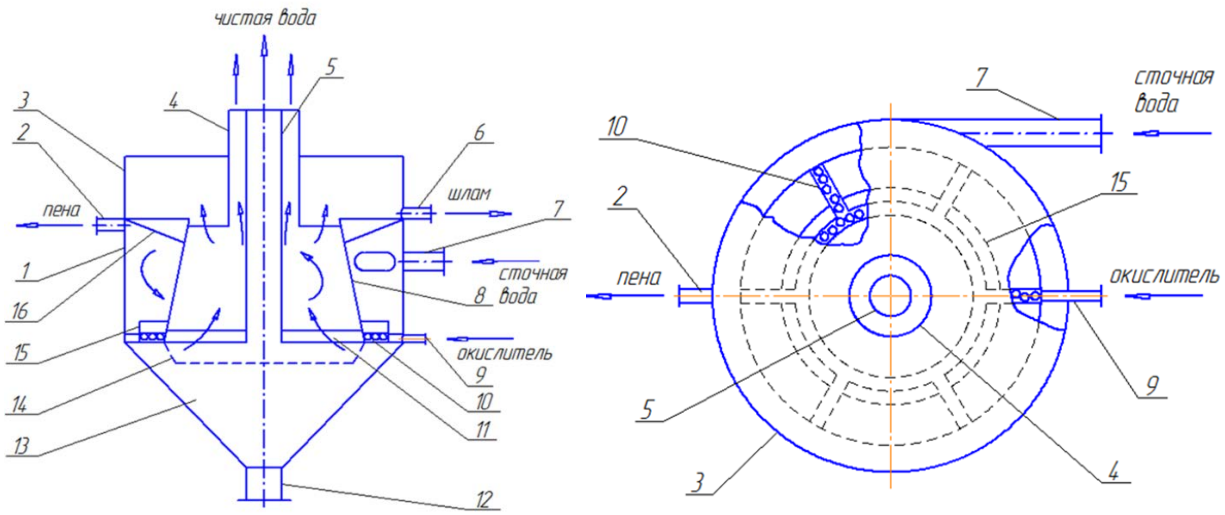


Рисунок 1. Двухступенчатый гидроциклон окислитель: 1 - цилиндроконический корпус, 2 - штуцер отвода пены, 3 – сливная камера, 4 – дополнительный патрубок отвода воды, 5 – основной патрубок отвода воды, 6 – штуцер отвода шлама, 7 – патрубок подачи воды, 8 – корпус вторичной закрутки, 9 – штуцер подачи окислителя, 10 – барботажное устройство, 11 - завихритель, 12 – патрубок отвода шлама, 13 – сливной конус, 14 – фильтр, 15 – кольцевой отражатель, 16 – наклонное днище.

Предложенное устройство работает следующим образом. Исходная загрязнённая вода подаются в патрубок 7 и за счёт тангенциального расположения, приобретает вращательное движение. При движении закрученного потока вниз между стенками корпуса 1 и корпусом вторичной закрутки 8 интенсивность закрутки возрастает за счёт конфузорности канала. Крупные частицы отбрасываются к стенке корпуса 1 и слой шлама сползает вниз, по наклонной стенке сливного конуса 13 и удаляется через патрубок отвода шлама 12.

Основная масса жидкости, изменяя направление, поступает в полость корпуса вторичной закрутки 8, причём, часть крупных и средних частиц загрязнителя задерживается на фильтре 14 и удаляется через патрубок 12. Жидкость, поступающая в полость вторичной закрутки, проходит через лопасти завихрителя 11 и приобретает дополнительное вращательное движение, что приводит к отбрасыванию поступающих частиц загрязнителя к стенкам камеры 8, которые далее поступают в полость сливной камеры 3 и удаляются через штуцер 6. Очищенная вода из центральной части гидроциклона по основному сливному патрубку 5 и дополнительному патрубку 4 отводится потребителю. Одновременно с очисткой от взвешенных частиц в гидроциклоне производится очистка от фенолов, нефтепродуктов, обеззараживание за счёт подачи через барботажное устройство 10 какого-либо окислителя (озон, озоно-воздушная смесь, хлор и др.), поступающего через штуцер 9. Окислитель поступает через систему распределительных отверстий, которые ограничиваются кольцевым отражателем 15. Поступающий окислитель выходит из барботажного устройства в виде пузырьков и перемешивается с водой в закрученном потоке. Пузырьки окислителя поднимаются в воде вверх и распределяются по двум физико-химическим процессам. Определённая часть окислителя разлагает фенолы, нефтепродукты до простейших безвредных соединений. Другая часть окислителя осуществляет флотацию, и загрязнители в виде флотационной пены поднимаются наверх и удаляются через штуцер 2.и поверхностных загрязнений при снегопереработке в городах.

Таким образом, в предложенной полезной модели производится двухступенчатое центробежное разделение взвешенных частиц, фильтрование и окислительное разложение нефтепродуктов, цианидов, сероводорода, что повышает качество очистки и увеличивает производительность процесса [4].

После исследования состава загрязнителей, подходящих методов физико-химической очистки и разработки гидроциклона была создана структурная схема снегоплавильной установки:

1. Плавильная часть;
2. Двухступенчатый гидроциклон-окислитель;
3. Выход очищенной воды и загрязнителей.

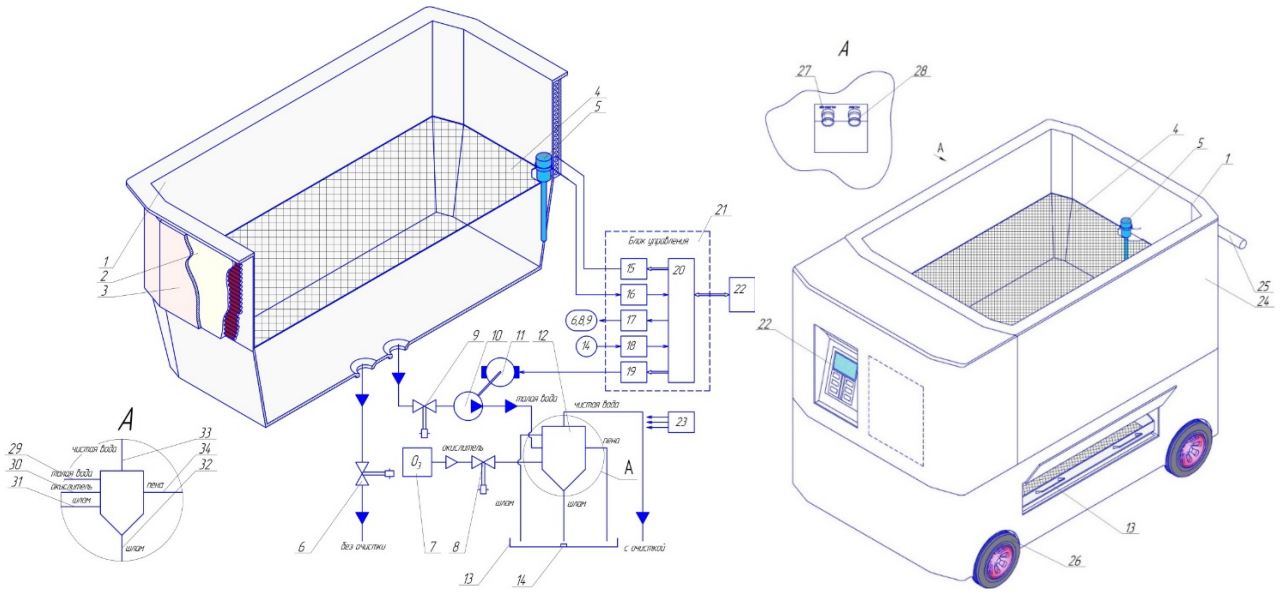


Рисунок 2. Схема и внешний вид мобильной снегоплавильной установки.
1 – снегоплавильная камера; 2 – термопанель, 3 – слой термоизоляции, 4 – съёмная решётка для задержания крупного мусора, 5 – датчик уровня жидкости, 6 – клапан слива жидкости (загрязнённой), 7 – озонатор (баллон с окислителем), 8 – клапан подачи окислителя, 9 – клапан слива жидкости (очищенной), 10 – гидронасос, 11 – электропривод, 12 – двухступенчатый гидроциклон–окислитель, 13 – резервуар для сбора загрязнителя, 14 – датчик уровня загрязнителя, 15 – канал управления термопанелью, 16 – канал измерения уровня жидкости, 17 – канал управления клапанами 6, 8, 9; 18 – канал измерения уровня загрязнителя, 19 – канал управления электроприводом, 20 – микроконтроллер, 21 – блок управления, 22 – панель управления, 23 – аккумулятор, 24 – внешний корпус, 25 – поручень, 26 – ходовая часть, 27 – слив без очистки, 28 – слив с очисткой, 29 – тангенциальный патрубок подвода загрязнённой жидкости, 30 – патрубок подачи окислителя; 31, 32 – патрубок отвода шлама, 33 – патрубок отвода очищенной воды, 34 – патрубок отвода пены.

Работает установка следующим образом: снежная масса поступает в снегоплавильную камеру 1, где плавиться термопанелью 2 с электропитанием от аккумулятора 23. Когда достигается необходимой объём жидкости, срабатывает датчик уровня жидкости 5 и на панель управления 22 поступает информация о необходимости открытия клапана слива жидкости 6 или 9. Клапан 6 открывается, если необходимости в очистке расплавленного снега нет, в противном случае срабатывает клапан 9. При открывании клапана 9 запускается электропривод 11 гидронасоса 10 и открывается клапан подачи окислителя 8 из озонатора или баллона с окислителем (воздушно-озоновая смесь) 7. В двухступенчатом гидроциклоне-окислителе 12 происходят процессы, описанные выше. Через патрубки отвода шлама 31, 32 и патрубок отвода пены 34 загрязнитель поступает в резервуар для загрязнителя 13, датчик уровня загрязнителя 14 подаёт информацию на панель управления 22 и позволяет вовремя заменить резервуар 13. Очищенная вода выходит из гидроциклона 12 через патрубок отвода очищенной воды 33. Вода выходит из установки либо через слив без очистки 27, либо через слив с очисткой 28, затем вода может накапливаться в дополнительном резервуаре для её дальнейшего использования в технических нуждах или сразу сливаться в канализацию. Передвижение установки осуществляется при помощи ходовой части 26 и поручня 25. Управление работой установки происходит через панель управления 22, а обработка принимаемой информации производится элементами блока управления 21.

Технические характеристики: объем плавильной камеры 1000 л; общая электрическая нагрузка 2,7 кВт/ 220В (может питаться от аккумулятора). Средняя производительность 3000 л/ч.

В итоге, нами была исследована проблема утилизации снега и его загрязнения, изучены методы физико-химической очистки и разработана мобильная установка, способная плавить и очищать снежные массы.

Преимуществами двухступенчатого гидроциклона-окислителя относительно прототипа являются: непрерывность процесса очистки, улучшение очистки от целого ряда загрязнителей и проведение нейтрализации загрязнителя. Преимуществами мобильной экологической снегоплавильной установки являются: транспортабельность, малый вес и габариты, произведение очистки снежных масс и экономичность.

Использовать данную установку могут владельцы земельных участков; частные компании, обладающие придомовой территорией, тротуарами и дорогами; жилищно-коммунальные организации; предприятия, производящие выбросы продуктов производства в окружающую среду. При этом, двухступенчатый гидроциклон-окислитель может использоваться в качестве самостоятельного устройства для очистки рабочих жидкостей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Экологические проблемы снеговых свалок г. Казань /*А.Р. Валетдинов [и др.]*// Безопасность жизнедеятельности. – 2005. - № 7. – С. 53-56.

2. Государственный доклад “О состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды Республики Татарстан в 2003 году”. Казань, 2004 – С.168.

3. ГОСТ 30813-2002. Вода и водоподготовка. Термины и определения. – Введ. 2004-01-01 – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 72 с.

4. Двухступенчатый гидроциклон окислитель // Патент России № 165646. 2016. Бюл. № 30/ *Мингазетдинов И.Х., Смирнова С.В., Потапов К.А.*

THE MOBILE ECOLOGICAL SNOW MELTING MACHINE

Potapov Konstantin[1], Musharapov Rustem[2]

grotesk74@mail.ru

Supervisor: Svetlana Smirnova[2], Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

([1]Kazan (Volga region) Federal University,

[2]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

The paper deals with the problem of pollution and processing of snow and possible ways to solve it. A mobile melting machine has been developed that carries out physical and chemical water purification.

УДК 629.7.054.44

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИОННО-МЕТОЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ВОЗДУШНОЙ СКОРОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

Резунов И.А.

ivano998@live.ru

Научный руководитель: Ф.А. Ганеев, к.т.н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассматриваются требования предъявляемые к измерителям воздушной скорости для систем вентиляции. Предложен ионно-меточный измеритель воздушной скорости с улучшенными метрологическими и эксплуатационными характеристиками. Представлены результаты разработки автономного измерителя с беспроводной передачей результатов измерения.

Система вентиляции стала неотъемлемым элементом инфраструктуры современных жилых, офисных и производственных помещений, а также больших спортивных и торговых центров. В ряде отраслей промышленности (радиоэлектроника, прецизионное приборостроение, фармацевтика и др.), в медицине и других сферах развиваются технологии,

которые требуют чистых помещений. Для обеспечения требуемого качества воздуха, поступающего в эти помещения создаются достаточно сложные системы вентиляции и кондиционирования. Для эффективного автоматического управления этими системами необходима информация по многим параметрам воздушного потока (температура, влажность). Одним из них является скорость воздушного потока в воздуховодах. В настоящее время сложились определенные требования к эксплуатационным и метрологическим характеристикам измерителей воздушной скорости для систем вентиляции это:

- Способность измерять малые скорости потока (от 0,2 м/сек).
- Долговременная стабильность метрологических характеристик. Длительный межповерочный интервал или отсутствие необходимости в поверке в течении всего срока эксплуатации.
- Конструкция измерителя должна обеспечивать удобство монтажа без нарушения прочности воздуховода. Для измерения скорости воздушного потока в воздуховоде делается специальное технологическое отверстие, через которое измерительное устройство помещается в воздуховод. Размеры технологического отверстия должно соответствовать размеру измерительного устройства. Для сохранения прочности и повышения эксплуатационной надежности воздуховода, технологическое отверстие должно быть минимальных размеров, что накладывает ограничение на размеры применяемых измерительных устройств.
- Беспроводная передача результатов измерения по радиоканалу для систем управления и мониторинга, хранения и обработки результатов измерения на планшетный компьютер, ноутбук, смартфон или другое устройство.
- Наличие встроенных функций диагностики состояния измерителя.
- Длительный период автономной работы, без подзарядки или замены батареи питания. Высокая энергоэффективность. Низкая стоимость эксплуатации.
- Технологичность конструкции, хорошая воспроизводимость характеристик при серийном производстве, низкая себестоимость производства, не требующего сложного, дорогостоящего оборудования.

Все измерители скорости используемых при наладке и регулировании систем вентиляции и кондиционирования подразделяются на тахометрические (крыльчатые) анемометры, термоанемометры и дифференциальные манометры.

Недостатком тахометрического измерителя является низкая надежность из-за наличия подвижного элемента – крыльчатки. В процессе эксплуатации опоры крыльчатки загрязняются, что приводит к увеличению трения вращению крыльчатки и нарушается установленная зависимость скорости вращения от скорости воздушного потока. Кроме того, наличие трения и дисбаланса подвижной части ограничивает возможность измерения малых скоростей воздушного потока. Существует принципиальная зависимость чувствительности такого измерителя от размеров крыльчатки, что накладывает ограничения по его миниатюризации. Погрешность тахометрического измерителя составляет 3-5% [1].

В качестве датчика термоанемометра используется тонкая (несколько микрон) платиновая нить, растянутая между игольчатыми державками. Такой датчик имеет низкую надежность. Более надежными являются, так называемые, пленочные термоанемометры, которые представляют собой керамическую пластинку с напыленным металлическим слоем микронной толщины.

Как проволочные, так и пленочные термоанемометры в процессе эксплуатации подвержены загрязнению, что приводит к изменению теплообмена с окружающей средой, а это приводит к погрешности измерения. Для устранения этой погрешности необходимо периодически проводить чистку датчика, что усложняет эксплуатацию термоанемометрических измерителей. Низкая технологическая воспроизводимость чувствительных элементов анемометров на стадии производства требуют индивидуальной

тарировки каждого экземпляра, что приводит их к удорожанию. Принципиальной особенностью термоанемометров является большое энергопотребление для нагрева датчика, что ограничивает реализацию измерителя с батарейным питанием. Погрешность термоанемометрического измерителя составляет обычно 5% [1].

Дифференциальным манометром измеряется давление, создаваемое воздушным потоком на зонде, помещаемом в воздуховод. Недостатком данного метода измерения является малая чувствительность и большая погрешность измерения при небольших скоростях потока (2-8 м/сек) составляет около 5-7% [1].

Для достижения высоких метрологических и эксплуатационных характеристик измерителя предлагается использовать физический принцип измерения скорости потока, который основан на измерении времени прохождения ионной меткой совместно с потоком заданного расстояния [2]. Ионная метка представляет собой локальную область воздушного потока с повышенной концентрацией униполярных (положительных или отрицательных) ионов и создается с помощью малогабаритного разрядника коронного разряда, производимого в воздушном потоке. Такая метка может быть сформирована в малом объеме потока, а ее газодинамические свойства практически не отличаются от свойств воздушной среды, что обеспечивает полное соответствие параметров движения метки характеристикам течения воздушного потока. Важным преимуществом униполярных ионных меток является возможность их регистрации бесконтактным способом, а именно с помощью металлических электродов, на которых, за счет эффекта электростатической индукции при пролете заряженной метки, наводится импульсный сигнал. При этом электроды могут быть изолированы от потока диэлектрическим материалом, что обеспечивает высокую надежность работы преобразователя при воздействии влаги, пыли и т.д. Результат измерения скорости потока ионно-меточным измерителем не зависит от изменений температуры, давления, плотности и других дестабилизирующих факторов.

На рисунке 1 представлена типовая схема ионно-меточного измерителя воздушной скорости, состоящего из проточного канала, в котором размещены малогабаритный коронный разрядник 2 и регистрирующий электрод 4. Генератор меток 1 в момент t_o формирует короткий высоковольтный импульс, который поступает на разрядник 2. В результате коронного разряда ионизируется область воздушного потока, прилегающая к разряднику. Образовавшееся ионное облако 3 (метка) уносится воздушным потоком по проточному каналу. Метка, пролетая около кольцевого регистрирующего электрода 4, наводит импульсный сигнал, временное положение которого t_1 фиксирует регистратор меток 5. Временной интервал t_1-t_o= τ зависит от скорости пролета меткой базового расстояния $L_б$ между разрядником 3 и электродом 4. Таким образом, скорость воздушного потока будет равна $V= L_б /\tau$.

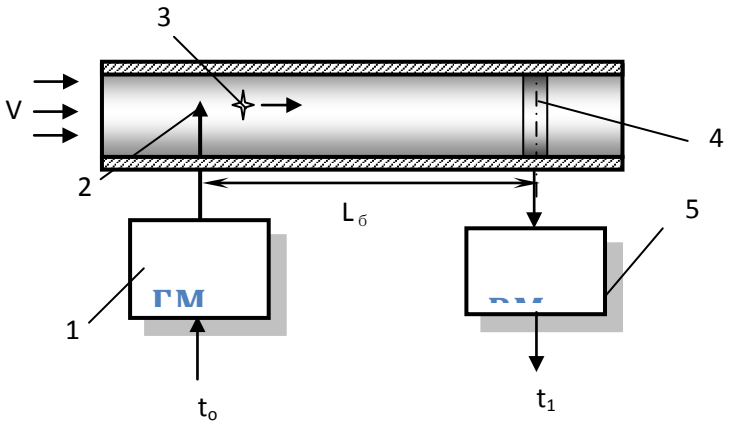


Рис.1. Схема ионно-меточного измерителя воздушной скорости

Генерация ионных меток (ГМ), их регистрация РМ, преобразование и обработка

информативных сигналов осуществляется электронными устройствами, что позволяет успешно решать задачи их миниатюризации, снижения энергопотребления, себестоимости, повышения надежности.

Использование для реализации ионно-меточного датчика современной элементной базы и информационных технологий позволяет создать малогабаритный прибор с автономным питанием и возможностью передачи результатов измерения по радиоканалу на персональный компьютер или другое мобильное устройство, поддерживающее Bluetooth интерфейс или Wi-Fi, например, планшетный компьютер, ноутбук или смартфон.

Достижение проектных показателей ионно-меточного датчика обеспечит ему конкурентное преимущество по стабильности метрологических характеристик, эксплуатационной надежности и сравнительно низкой себестоимости.

Измерение малых скоростей воздушного потока затрудняется из-за короткого времени «жизни» ионной метки, которая представляет собой локальную область с повышенной концентрацией униполярных ионов, образующихся за счет импульсного коронного разряда производимого в воздушном потоке. С уменьшением скорости время пролета метки до приемного электрода возрастает. За счет рекомбинации ионов метка теряет свой заряд и соответственно заряд, наводимый на приемном электроде также уменьшается, что затрудняет выделение полезного сигнала на фоне внешних помех и внутренних аппаратурных шумов.

Для расширения рабочего диапазона ионно-меточного датчика в область малых скоростей разработаны конструкций приемных электродов обеспечивающих восприятие меток с малым зарядом, а также схемотехнические решения, направленные на увеличение соотношения сигнал/помеха;

Разработаны энергоэффективные схемы генератора ионной метки и каналов преобразования информативных сигналов, которые обеспечивают длительный автономный режим работы от аккумуляторного источника питания.

Для обеспечения удобства эксплуатации разработаны программно-аппаратные средства беспроводной передачи, хранения и обработки результатов измерения на планшетный компьютер, ноутбук или смартфон.

Результаты разработок использованы при создании экспериментального образца базовой модели ионно-меточного измерителя и проведены метрологические испытания, подтвердившие эффективность принятых технических решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Трохан А.М.* Гидроаэрофизические измерения. – М.: Издательства стандартов, 1981. - 336 с.

2. Патент РФ на полезную модель №166715, МПК G01P 5/18 , Ионно-меточный измеритель скорости воздушного потока/ *Ганеев Ф.А., Ганеев Т.Ф., Миннебаев М.Р., Уразбахтин И.Р.* Заявл. 04.07.2016. Опубл. 10.12.2016. –Бюл.№34.

DESIGN OF ION-TAG AIRSPEED SENSOR FOR VENTILATION SYSTEMS AND FEATURES

Rezunov I.

ivano998@live.ru

Supervisor: F. Ganeev, Candidate of Technical Sciences

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

This report is about the requirements which shown to measurers of airspeed for ventilation systems. The ion-tag sensor of airspeed with upgraded metrological and operational characteristics is proposed. There is shown the development results of autonomous measurer with wireless broadcast of measurement results.

УДК 629.7.054.44

РЕГИСТРАТОР ИОННОЙ МЕТКИ С АЛГОРИТМОМ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ИНФОРМАТИВНОГО СИГНАЛА

Резунов И.А.
ivano998@live.ru
Научный руководитель: Ф.А. Ганеев, к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Предложен алгоритм обработки информативного сигнала ионно-меточного измерителя воздушной скорости с улучшенными метрологическими и эксплуатационными характеристиками. Представлены результаты разработки автономного измерителя с беспроводной передачей результатов измерения.

По результатам проведенного нами анализа рынка измерительных устройств на сегодняшний день большим спросом пользуются портативные и автономные датчики измерения неэлектрических величин, в частности анемометры и системы на их базе.

Наиболее распространённые портативные, компактные и беспроводные анемометры построены на механическом, тепловом и ультразвуковом методах. У данных методов множество преимуществ, выделяющих их среди остальных, однако они не лишены собственных недостатков.

В качестве примера механического анемометра можно привести чашечную крыльчатку, выходным сигналом которой является частота вращения крыльчатки. Полезный сигнал о скорости воздушного потока, проходящего через чашечки, получают косвенно, с поправкой на трение в опорах вращения. С течением времени ошибка накапливается, чувствительность снижается, что в последствии приводит к изменению кривой измерения скорости воздушного потока, с высокой вероятностью заклинивания механизма вращения.

Что касается теплового анемометра, то подразумевается термоанемометрический датчик с платиновым терморезистором. Данный метод основан на компенсации потерь тепла от нагретого терморезистора в омывающую его воздушным потоком среду. Чем больше тепла за короткое время теряет резистор, тем выше скорость потока. Что касается недостатков данного метода, то терморезистор очень чувствителен к влажности, температуре окружающей среды и степени загрязнённости. Воспроизводимость такого чувствительного элемента достаточно низка, что приводит необходимости в тарировке каждого экземпляра датчика.

И наконец, ультразвуковой анемометр, основанный на изменение скорости звуковой волны от влияния набегающего воздушного потока. Недостатком данного метода влияние внешнего акустического шума на показания.

В качестве конкурента данным методам измерения воздушного потока нами выдвигается ионно-меточный измеритель. В данном методе наблюдается кинематическое измерение скорости помещённой в воздушный поток униполярной ионной метки, которая на базовом расстоянии от источника генерации метки бесконтактно улавливается приёмным электродом. Данный метод лишён всех перечисленных недостатков и является лидером в энергоэффективности измерения и обладает высокими показателями по воспроизводимости.

На данный момент собрано несколько прототипов ионно-меточных датчиков, испытания которых показали высокие показатели в энергоэффективности, а также превзошли диапазоны и точность измерения воздушного потока всех перечисленных методов.

Немаловажен процесс формирования полезного сигнала в данном анемометре, который заключается в следующем: образованная миниатюрным высоковольтным разрядником ионная отрицательно заряженная метка сносится потоком, приобретая его скорость и пролетая рядом с приемным электродом, наводит в последнем электрические заряды за счет эффекта электростатической индукции. Величина заряда не остается постоянной, а изменяется во времени по экспоненциальному закону. С учетом свойств метки, временной сигнал, наведенный на электроде, является произведением двух функций от времени

$$q_H(t) = q_M(t) \cdot f(t),$$

что при известном законе изменения заряда можно записать как:

$$q_H(t) = q_0 exp(-\beta \cdot t) \cdot f(t).$$

Из полученного соотношения видно, что амплитуда информативного сигнала зависит от времени пролёта метки в зоне регистрирующего электрода, т.е. определяется скоростью ее перемещения в потоке. Изменение заряда за единицу времени есть ток, а момент перемены знака тока есть момент прохода метки через середину электрода. Зная время пролета метки до регистрирующего электрода, можно вычислить скорость воздушного потока.

С уменьшением скорости время пролета метки до приемного электрода возрастает. За счет рекомбинации ионов метка теряет свой заряд и соответственно заряд, наводимый на приемном электроде, также уменьшается, что затрудняет выделение полезного сигнала на фоне внешних помех и внутренних аппаратурных шумов. Для расширения рабочего диапазона ионно-меточного датчика в область малых скоростей разработаны конструкций приемных электродов обеспечивающих восприятие меток с малым зарядом, а также схемотехнические решения, направленные на увеличение соотношения сигнал/помеха.

Существующий метод обработки полезного сигнала сводится к нахождению момента изменения направления тока, что с учетом крайне малых образующихся токов требует больших коэффициентов усиления этих токов, что также приводит к усилению наводимых шумов. Уровень выходного сигнала при малых скоростях сравним с уровнем наводимых, что весьма усложняет реализацию данного датчика.

Как уже было сказано ранее основной величиной, характеризующей положение метки, является заряд, который в момент приближении метки к электроду растет, при удалении убывает, а в момент пролёта метки через середину электрода, на регистрирующем электроде возникает максимальный заряд. Вот этот максимум заряда и является информативным.

Усилитель заряда представляет из себя аналоговый интегратор, который представляет из себя усилитель тока с интегрирующей RC-цепочкой в обратной связи. Использование данной цепи даем нам ограничение по времени сканирования, которое разово задается характеристиками цепи. Так же стоит отметить разброс характеристик конденсаторов и изменение их характеристик со временем. Так как усилитель тока лишен приведенных недостатков, то можно использовать его, а в качестве интегратора использовать цифровое интегрирование. Отказ от RC-цепи в усилителе дает нам точность воспроизводимости, а использование цифровых технологий – большие возможности в методах обработки сигналов и большое количество методов передачи данных, что в свою очередь дает возможность построения портативных беспроводных устройств.

Нашей целью является расширение диапазона измерения скорости в область малых скоростей использованием интегрирования оцифрованного полезного сигнала.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Построение математической модели двух методов регистрации пролёта метки: нахождение момента смены знака тока и нахождение момента максимума заряда;
2. Нахождение минимально возможной скорости для ранее использованных методов;
3. Реализация цифрового метода интегрирования и последующей обработки сигнала ионно-меточного анемометра;
4. Проведение сравнительных тестов.

Математическая модель показала непостижимые при использовании существующих методов возможности, представленные на рис.1. и рис.2.

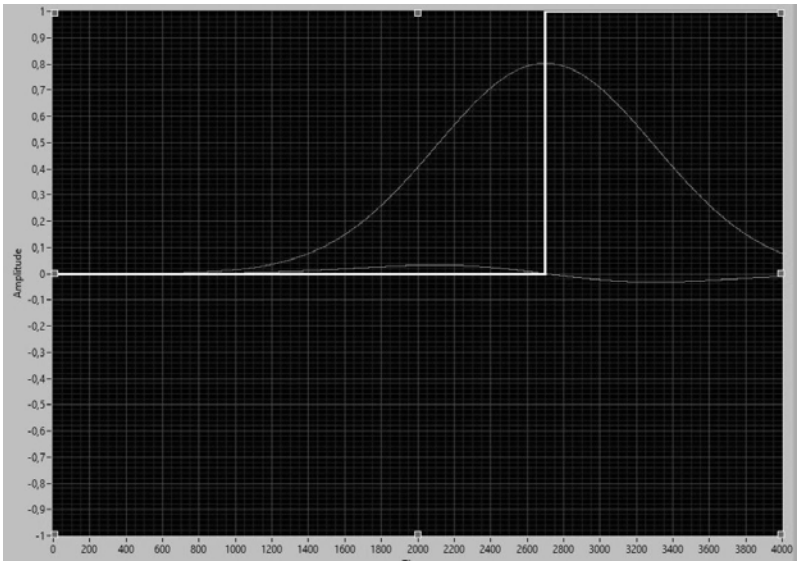


Рис.1. Математическая модель и реализация метода интегрирования в среде LabVIEW. Шумы полностью отсутствуют.

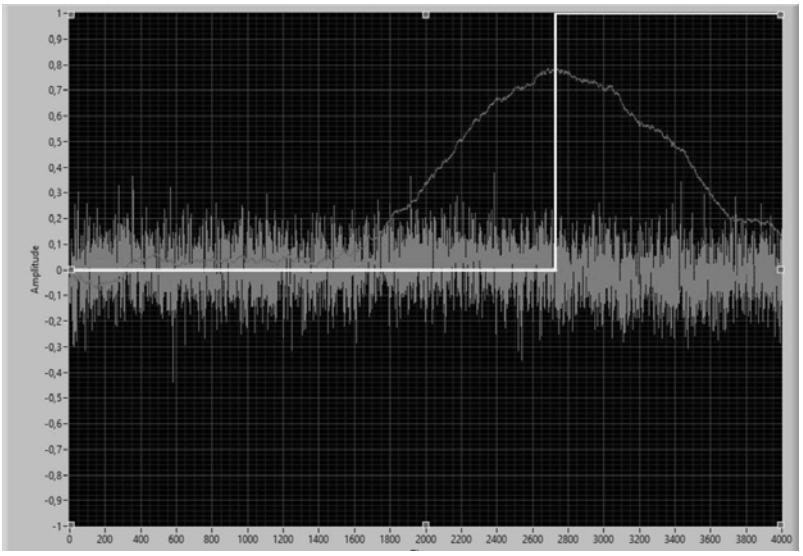


Рис.2. Математическая модель и реализация метода интегрирования в среде LabVIEW. Шумы превышают по амплитуде полезный сигнал.

По рисункам видно, что использование существующих методов невозможно при большом уровне шума, а использование метода интегрирования практически не поменяло результат при столь большом уровне шума.

В результате проведенных исследований и разработок создан макетный образец ионно-меточного измерителя воздушной скорости. Измерительная схема реализована с использованием микроконтроллера stm32f103c8t6 (nrf52832 в варианте с Bluetooth).

Проведены продувки макетного образца, результаты которых показали, что предложенный алгоритм обработки информативного сигнала позволяет расширить диапазон в область малых скоростей до 0,4 м/с.

В заключении следует отметить рост возможностей в обработке информативных сигналов с развитием технологий и миниатюрной энергоэффективной вычислительной техники, который сделал применение старых технологий и методов актуальными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Трохан А.М.* Гидроаэрофизические измерения. – М.: Издательства стандартов, 1981. - 336 с.

2. Патент РФ на полезную модель №166715, МПК G01P 5/18 , Ионно-меточный

измеритель скорости воздушного потока/ *Ганеев Ф.А., Ганеев Т.Ф., Миннебаев М.Р., Уразбахтин И.Р.* Заявл. 04.07.2016. Опубл. 10.12.2016. –Бюл.№34.

REGISTRAR ION OF THE LABEL WITH THE ALGORITHM OF INTEGRATION OF THE INFORMATIVE SIGNAL

Rezunov I.
ivano998@live.ru
Supervisor: F. Ganeev, Candidate of Technical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

An algorithm for processing the informative signal of the ion-label airspeed meter with improved metrological and operational characteristics is proposed. The results of the development of an Autonomous meter with wireless transmission of measurement results are presented.

УДК 629.05; 629.058

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ПИЛОТОВ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Степнова Е.И., Киселев С.К.
seistep1992@yandex.ru
Научный руководитель: С.К. Киселев, д.т.н., доцент
(АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения», Ульяновск)

В данной статье приведены результаты исследования возможности снижения зрительной нагрузки пилотов воздушного судно. Целью проведения исследований является определение способа отображения пилотажной информации на экране пилотажно-навигационного индикатора, позволяющего снизить зрительную нагрузку пилотов.

Большую часть информации (около 80 %) пилот воздушного судна (ВС) получает посредством визуального канала. Воспринимая сигналы, поступающие от системы отображения информации (СОИ), пилот оценивает текущее состояние ВС, сравнивает его с необходимым, анализирует возможные способы действий, принимает решение и выполняет управляющие действия.

Особенностью процесса считывания пилотом СОИ является дискретность получения информации с каждого элемента СОИ, которая характеризуется, в первую очередь, средней частотой зрительных обращений пилота к основным элементам СОИ. Пилот снимает показания различных элементов СОИ с различной частотой в зависимости от динамичности визуализируемой ими информации и выполняемой пилотажной задачи, «при этом уменьшение доли внимания к тому или иному прибору часто диктуется отсутствием времени, а не уменьшением потребности в информации» [1].

Проблема надежности восприятия информации пилотом заключается в том, что ее количество неограниченно растет, тогда как возможности пилота ограничены [2].

Динамичность взаимодействия пилота с ВС требует от пилота такой организации его зрительной деятельности, при которой он способен оперативно получить с СОИ необходимую информацию, а от разработчиков СОИ – обеспечить летчику возможность получения необходимой информации с учетом объективно ограниченных психофизиологических способностей летчика [1].

В настоящее время современные разработки бортового оборудования позволяют автоматизировать процесс пилотирования ВС, что значительно позволяет снизить нагрузку на пилота. Однако применение автоматизированной системы может привести к излишней уверенности членов экипажа и чрезмерному доверию к технике. Автоматизированная система должна применяться только для того, чтобы освободить пилота от рутинной умственной работы связанной с вычислениями, но никак не освобождать пилота от

управления самолетом и контролем за пилотажной обстановкой. Полностью исключить пилота из эргатической системы «Человек – ВС» невозможно, поскольку необходим постоянный контроль над процессом пилотирования и при внештатных ситуациях именно за пилотом всегда остается управление ВС.

На всех этапах полета пилоты непрерывно взаимодействует с пилотажно-навигационным индикатором, на котором отображены скоростные параметры, высотные параметры, навигационные данные, параметры состояния топливной системы, сигнальная информация, параметры состояния самолета.

При автоматическом пилотировании ВС пилоты систематически контролируют: положение самолета по пилотажно-командному прибору, по пилотажно-навигационным приборам, вариометрам, высотомерам, указателям скорости, авиагоризонту и индикатору курсовых углов. При этом зрительная нагрузка не уменьшается.

Относительная зрительная нагрузка пилота отображаемой пилотажно-навигационной информации рассчитывается по формуле 1 [1].

$$\lambda = T_{\phi} \sum_{i=1}^{N} f_i + T_n \sum_{n=1}^{K} f_n , \quad (1)$$

где: λ - Относительная зрительная нагрузка пилота по параметрической видеоинформации; T_{ϕ} - среднее время снятия пилотом показания с индикатора; f_i - минимально необходимая частота наблюдения i-го пилотажного параметра (ПП) ($i = 1, ..., N_n$); N_n – число визуализируемых n-ым прибором ПП; T_n – средняя продолжительность переноса взгляда пилота с одного прибора на другой; f_n - информативная частота n-го прибора.

Поскольку для оценки зрительной нагрузки пилота рассматривается один ПП, то T_n и f_n принимаем равным 0. Отсюда следует, что расчет относительной зрительной нагрузки пилота по параметрической видеоинформации рассчитывается по формуле 2.

$$\lambda = T_{\phi} \sum_{i=1}^{N} f_i . \quad (2)$$

Зависимость затраченного времени контроля ПП на длительность этапа полета определяется неравенством (3):

$$T \cdot \lambda \le T , \quad (3)$$

где T – продолжительность этапа полета.

Из приведенного неравенства видно, что λ позволяет определить какая часть продолжительности этапа полета затрачивается пилотом на контроль ПП. При $\lambda = 1$ пилот тратит все время на зрительный контроль ПП и не имеет резерва времени. При $\lambda < 1$ зрительная нагрузка пилота меньше максимально допустимой и пилот на этом этапе полета обладает резервом времени. При $\lambda > 1$ зрительная нагрузка пилота по контролю ПП превышает предельно допустимую нагрузку.

Согласно [3] продолжительность фиксации взгляда составляет 0,25 – 0,65 с. Оптимальное время снятия пилотом показаний минимум 0,35 с. Снижение этого параметра до 0,3 приводит к увеличению потока информации, что требует от пилота повышение скорости переработки информации на 1/3.

Для снижения зрительной нагрузки пилота необходимо адаптировать отображение пилотажных параметров под определенный этап полета ВС, что позволит уменьшить объем отображаемой информации.

Адаптивный способ отображения пилотажно-навигационных параметров позволит снизить зрительную нагрузку пилота, тем самым, увеличив время на обработку и принятие решения.

Адаптация отображения пилотажной информации производится путем программной обработки и наложением ограничений на выдачу пилотажно-навигационной информации по таким параметрам, как наличие/отсутствие «шасси обжато», положение топливного крана,

скорость, положение рычага управления двигателем (РУД), высота.

Рассмотрим зрительную нагрузку пилота на этапе посадки ВС, поскольку он является самым аварийным участком пилотирования.

Анализ руководства по летной эксплуатации ВС и действия пилотов во время выполнения посадки позволил определить пилотажно-навигационные параметры, которые необходимо отображать на экране индикатор для выполнения пилотажной задачи, а также определить параметры, которые нет необходимости отображать на этапе посадки.

Результаты расчетов зрительной нагрузки пилота по параметрической видеоинформации на этапе посадки приведены в таблице 1. Расчет зрительной загрузки пилота рассчитан при нормальном полете.

Таблица 1

Результаты расчетов зрительной нагрузки пилота по параметрической видеоинформации на этапе посадки до высоты принятия решения

Параметры	Частота наблюдения пилотажного параметра					
	Этап посадки до высоты принятия решения		Этап посадки после высоты принятия решения		Этап пробега	
	Было	Стало	Было	Стало	Было	Стало
Угол атаки	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138
Приборная скорость	0,147	0,132	0,147	0,132	0,132	0,132
Символ самолета	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092
Авиагоризонт	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092
Крен	0,258	0,172	0,258	0,172	0,258	0,172
Тангаж	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Боковая перегрузка	0,184	-	0,184	-	0,184	-
Команды директорного управления	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	-
Символ безопасности	0,184	-	0,184	-	0,184	-
Режим управления полетом и тягой двигателей	0,123	0,061	0,123	0,061	0,061	0,02
Сигнальная информация	-	-	-	-	-	-
Барометрическая высота	0,154	0,115	0,154	0,115	0,154	-
Вертикальная скорость	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	-
Отклонение от глиссады и курса посадки	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-
Радиовысота	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	-
Высота принятия решения	0,123	0,061	0,123	0,061	0,123	-
Курсовая информация	0,159	0,159	0,159	0,159	0,123	0,074
Воздушная обстановка от системы предупреждения столкновения (СПС)	-	-	-	-	-	-
Признаки и частоты настройки бортовых радиосредств	-	-	-	-	-	-
Дальность до радиомаяков DME	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092	-
Расстояние и время до поворотного пункта маршрута (ППМ)	0,184	0,184	0,184	-	0,184	-
Нормальная перегрузка	0,082	0,082	0,082	0,082	0,082	-
СУММА f_i	3,191	2,559	3,191	2,375	2,978	1,07
T_ϕ	0,35					
λ	1,117	0,9	1,118	0,831	1,042	0,375

Графическое представление, полученных результатов представлено на рисунке 2.

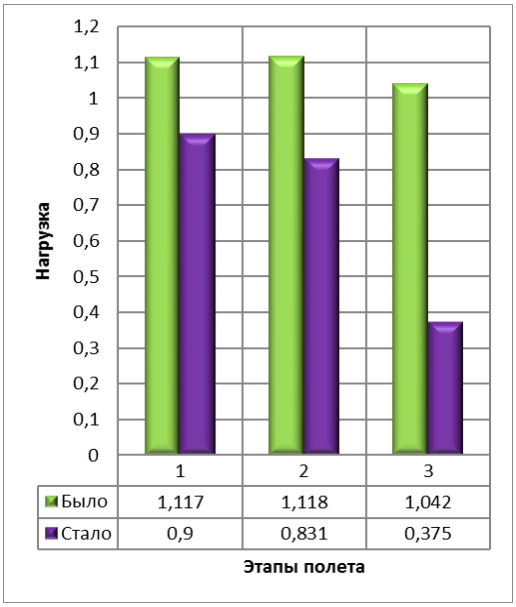


Рисунок 1. Зрительная нагрузка пилота на этапе посадки

Как видно из вычислений зрительной загрузки (см. таблицу 1) и графического представления расчетов зрительной загрузки пилотов (см. рисунок 2), при выводе на отображение пилотажно-навигационной информации, необходимой на определенном этапе полета, на этапе посадки ВС до высоты принятия решения зрительная загрузка пилотов снизилась на 19,4 %, на этапе посадки после высоты принятия решения – на 25,7 %, на этапе пробега – на 64,01 %.

Информация, не отображаемая на основном кадре, выводится в дополнительном кадре, по запросу пилота. Таким образом, пилот имеет доступ к дополнительной информации, необходимой ему для оценки пилотажной ситуации и принятия решения. Также для безопасности полета, для каждого параметра определены границы предельно-допустимых значений. При приближении к пороговым значениям пилоту будет просигнализировано о приближении к предельно-допустимым значениям. Если на данном этапе полета параметр не отображался, то при приближении этого параметра к пороговому значению, он выводится на индикацию.

Заключение

Как видно из результатов проведенного исследования зрительная нагрузка членов экипажа на этапе посадки при применении адаптивного способа отображения пилотажно-навигационной информации на экране многофункционального индикатора значительно снизилась. Поскольку этап посадки является самым аварийным, то при адаптивном способе отображения пилотажно-навигационной информации у пилота появляется резерв времени для оценки пилотажной обстановки, правильного и надежного восприятия информации, ее переработки и принятия решения, что в свою очередь ведет к увеличению качества пилотирования и без потери обеспечения безопасности полета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Столяров Н.А., Кузнецов И.Б.* Эргономические основы совершенствования отображения приборной информации//Научный вестник МГТУ ГА. – 2013 г. - № 192. – С. 96-101.

2. Авиационные проблемы и системы: Учебное пособие/*Г.И. Клюев, Н.Н. Макаров, В.М. Солдаткин; под ред. В.А. Мишина.* – Ульяновск: УлГТУ, 2000.-343 с.

3. Бортовые информационные системы: Курс лекций/*А.А Кучерявый; под. Ред. В.А.Мишина и Г.И. Клюева.* – 2-е изд., перераб. и доп. – Ульяновск: УлГТУ, 2004.-504 с.: ил.

STUDY OF THE REDUCING POSSIBILITY THE VISUAL LOAD OF AIRCRAFT PILOTS

Stepnova E., Kiselev S.
seistep1992@yandex.ru
Supervisor: S. Kiselev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(JSC «Ulyanovsk instrument manufacturing design bureau», Ulyanovsk)

This article presents the results of a study of the reducing possibility the visual load of aircraft rafts. The purpose of the study is to determine the method of displaying pilot information on the flight control indicator screen, which allows to reduce the visual load of pilots.

УДК 62-1/-9

ЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКИЙ КАНАЛ АУДИОМЕТРА В ОТОЛАРИНГОЛОГИИ

Фазулзянова Г.Г.
gulina_faz@mail.ru
Научный руководитель: А.В. Бердников, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Обычные методы диагностики используют аудиометр, который требует поведенческого ответа от субъекта. Поэтому необходимо использовать метод, фокусирующийся на определении слухового порога на разных частотах, основанный на реакции мозга на слуховой стимул с помощью слухового вызванного потенциала присутствующего в ЭЭГ.

В настоящее время нарушение функции слухового аппарата является достаточно распространенной проблемой. Статистика утверждает, что более чем у 6% населения наблюдаются проблемы со слухом [1].

Снижение слуха, подразумевает существенное его ослабление, однако при этом, функция восприятия речи остаётся доступной. Думать, что снижение слуха способна беспокоить только пожилых людей, то это не так. Проблема способна активно проявиться в любом возрасте, поэтому чрезвычайно важно проявлять регулярную заботу об органах слуха.

Для выявления нарушения слуха, как правило, используется аудиометрия. Основной интерес в данном случае представляет тональная аудиометрия, проводимая с использованием аудиометра. Через специальные наушники пациент получает звуковой сигнал. В этот момент пациент должен нажать кнопку в ответ на этот раздражитель (только при обязательном условии, что он его слышит). Разновидностью тональной аудиометрии является компьютерная аудиометрия, заключающаяся в том, что у человека возникают безусловные рефлексы при звуковом раздражении уха [2].

Обычные методы скрининга используют аудиометр, который требует поведенческого ответа от субъекта. В случае пожилых людей и младенцев они не смогут обеспечить адекватный ответ, а в другом случае – пациентов с умственной отсталостью, они не захотят пройти скрининговый тест. Таким образом, необходимо рассмотреть другой способ обнаружения слуховых потерь, чтобы можно было установить объективный диагноз. Этот метод фокусируется на определении слухового порога на разных частотах, основанный на реакции мозга на слуховой стимул с помощью слухового вызванного потенциала присутствующего в ЭЭГ.

Электроэнцефалография (ЭЭГ) основывается на регистрации биоэлектрических волн, испускаемых нейронами коры головного мозга. С помощью электродов активность нервных клеток улавливается, усиливается и прибором переводится в графический вид [3].

Когда миллионы нейронов реагируют в унисон, они производят «качающиеся» электрические разряды. Эти разряды создают ритм который получил название «мозговая

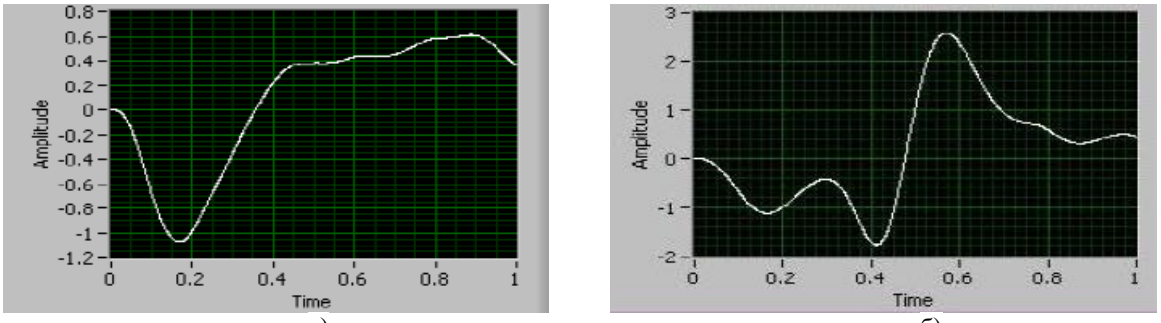
волна». Эти ритмы волн мозговой активности формируются в несколько групп, в зависимости от их частот:

- Бета-ритмы известны как высокочастотные волны с низкой амплитудой (от 15 до 35 колебаний в секунду, амплитуда – 5—30 мкВ), которые обычно наблюдаются, когда мы бодрствуем.
- Альфа-ритм имеет от 8 до 13 колебаний в секунду, средняя амплитуда 30–70 мкВ. Максимальную амплитуду α-ритм имеет в состоянии спокойного бодрствования.
- Тета-ритм – от 5 до 7 колебаний в секунду. Данный ритм обладает высоким электрическим потенциалом 100–150 микровольт и высокую амплитуду волн от 10 до 30 мкВ. При данной частоте головной мозг находится в глубокой релаксации.
- Дельта-ритм – от 0,5 до 4 колебаний в секунду, амплитуда – 50—500 мкВ. Возникает и при глубоком естественном сне, и при наркотическом, а также при коме[4].

Слуховые вызванные потенциалы (СВП) – это небольшие электрические потенциалы, генерируемые в мозге в ответ на любые слуховые стимулы и регистрируемые на коже головы. Устойчивые состояния, вызванные слуховым потенциалом, являются ответами, полученными, когда стимулы происходят с высокой скоростью таким образом, что ответы накладываются и вызывают периодические реакции при определенных частотах стимуляции. СВП наблюдаются только в диапазоне дельта ритмов. Это позволяет регистрировать ответ на нескольких частотах и строить график зависимости уровня звоспринимаемого звука от частоты – аудиограммы для дальнейшего анализа. Когда СВП генерируются из-за стимула с более высокой скоростью, он вызывает устойчивый слуховой ответ (УСО).

Цель УСО - создать оценочную аудиограмму, по которой можно ответить на вопросы, касающиеся слуха, потери слуха и восстановления слуха. УСО позволяет специалисту по слуховым аппаратам создавать статистически достоверные аудиограммы для тех, кто не может или не желает участвовать в традиционных тестах.

Пациент должен вести себя очень тихо и неподвижно, чтобы получить достоверные результаты УСО. Часто тестирование проводится в спокойном состоянии или во время естественного сна, или же если человеку меньше 6 месяцев. Результаты получают путем измерения активности мозга, в то время как человек слушает сигналы с различной частотой (шагом) и интенсивностью (громкостью).



а) б)

Рис. 1. Диаграмма дельта- ритмов в покое (а) и в состоянии аудиовозбуждения (б).

Активность мозга регистрируется с использованием электродов. Для регистрации ЭЭГ здесь используется трехэлектродная система. В этой системе используются положения электродов Fp (лобное), Cz (центральное) и для заземления (браслет на руке). Использование электродов устраняет необходимость активного участия пациента (то есть нажатие кнопки ответа). Результаты обнаруживаются с использованием статистических формул, которые определяют наличие или отсутствие истинного ответа. Подобно традиционному аудиометрическому тестированию порог определяется как самый низкий уровень на каждой частоте, на которой присутствует ответ. ASSR обеспечивает точную, частотную оценку поведенческой аудиотональности [5].

Для повышения точности исследования слуха необходимо ввести дополнительный сенсор, подтверждающий процесс идентификации звука при регистрации аудиограммы.

Одним из объективных (физиологических) методов, которые дают специалистам точную и полную информацию о нарушении слуховой функции, являются безусловно-рефлекторные реакции слуха на звук. Суть реакций состоит в сокращении мышечной ткани в ответ на интенсивный звуковой стимул. Различают соматические и вегетативные безусловные реакции. При соматической реакции сокращается поперечнополосатая мышечная ткань (скелетная мускулатура) – человек вздрагивает, наблюдается закрывание век. При вегетативной реакции сокращается гладкая мускулатура, что приводит к расширению зрачка [6].

Для оценки функционального состояния мышц и окончаний периферических нервов применяется диагностический метод электромиография (ЭМГ). Она включает методики по изучению электрической активности мышц в состоянии покоя, при произвольных, непроизвольных и вызванных искусственными раздражениями сокращениях. Оценка происходит по уровню электрической активности нервных окончаний. Электромиограмма – кривая, получаемая при регистрации электрических потенциалов скелетных мышц. По ней определяют форму, длительность и амплитуду потенциала.

Электрическая активность скелетных мышц имеют следующие параметры: амплитуда потенциалов действия не превышает 300 мкВ, а длительность составляет 3-5 мс. Это значит, что одиночные сокращения мышцы будут при частоте импульсов менее 100 Гц [7].

Была разработана структурной схема энцефалографического канала.

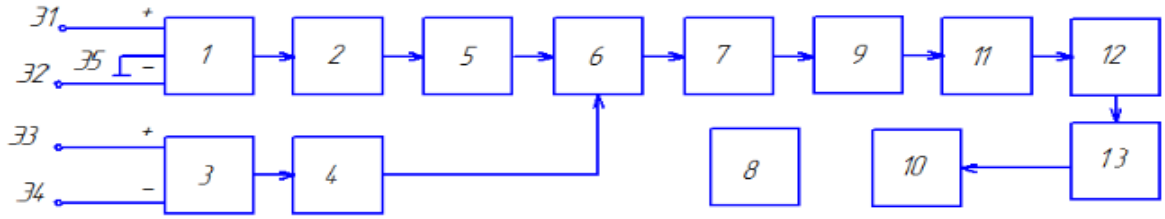


Рис.2. Структурная схема диагностического оборудования:
1 – дифференциальный усилитель, 2 – фильтр верхних частот, 3 – дифференциальный усилитель, 4 – полосовой фильтр, 5 – фильтр низких частот, 6 – мультиплексор, 7 – аналогово-цифровой преобразователь, 8 – блок питания, 9 – вычислитель, 10 – наушники, 11 – порт USB, 12 – персональный компьютер, 13 – регулятор громкости

Работа этого канала предполагает подачу синусоидального сигнала на слуховой аппарат человека с помощью наушника 10 на разных частотах с регулятором громкости 13. При этом с электродов Э1 и Э2 сигнал энцефалограммы, соответствующий дельта ритму, поступает на дифференциальный усилитель 1. Далее через полосовой фильтр, реализованный на ФВЧ 2 и ФНЧ 5, поступает на мультиплексор 6. Для дополнительного подтверждения электромиографический сигнал, снимаемых с электродов Э3 и Э4 и размещенных на глазницах, поступает через свой дифференциальный усилитель 3 на полосовой фильтр 4 и далее поступает в мультиплексор 6, с помощью аналогово-цифрового преобразователя 7 передается в вычислитель 8. Полученные данные передаются через порт USB в персональный компьютер 12, где производится выделение дельта ритмов.

В качестве технического средства для обработки результатов выбрана система MATLAB с использованием пакета вейвлет-анализа MATLAB Wavelet Toolbox.

Для анализа данных сигналов был выбран вейвлет Морлет. Он является грубым вейвлетом и обладает минимумом свойств, которыми должны обладать вейвлеты, обеспечивающие полноценные возможности в технике преобразования сигналов, то есть поддерживает преобразование нестационарных сигналов и обеспечивает быстродействие в нахождении вейвлет-коэффициентов.

Формула для вычисления значения вейвлета Морле:

$$\psi(x) = e^{-x^2/2} * \cos(5x)$$

на n точках регулярной сетки интервала [a,b]. На выходе получается функция psi, вычисленная на сетке X' и сама сетка X. Этот вейвлет имеет эффективный носитель на [-4,4] [8].

Исходный сигнал имеет следующий вид.

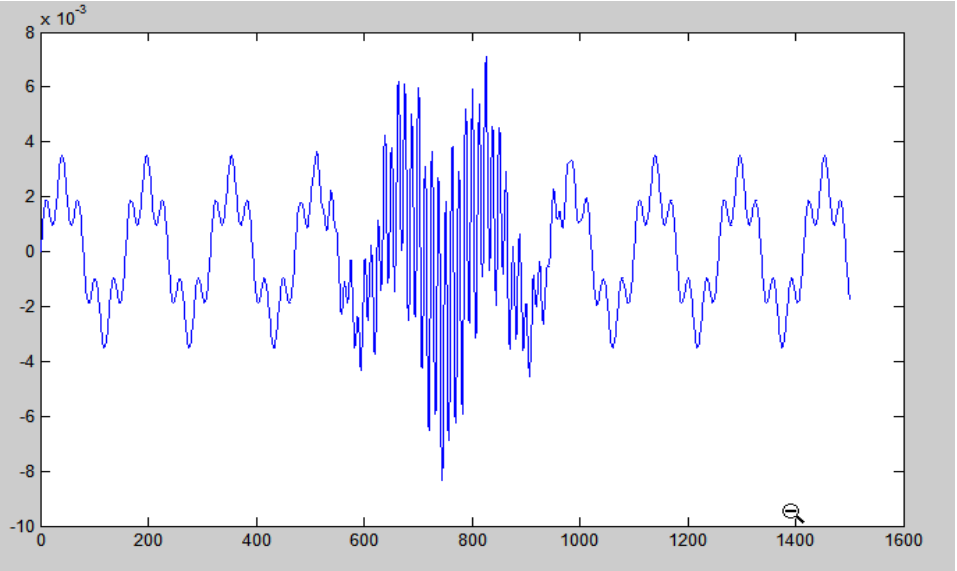


Рис.3. Исходный сигнал

Применяя вейвлет преобразование Морле, получили следующую спектрограммму. Выбран масштаб с шагом 1 от значения a=5 до a=13. Таким образом, локализовали время появления необходимого ритма колебаний биопотенциалов.

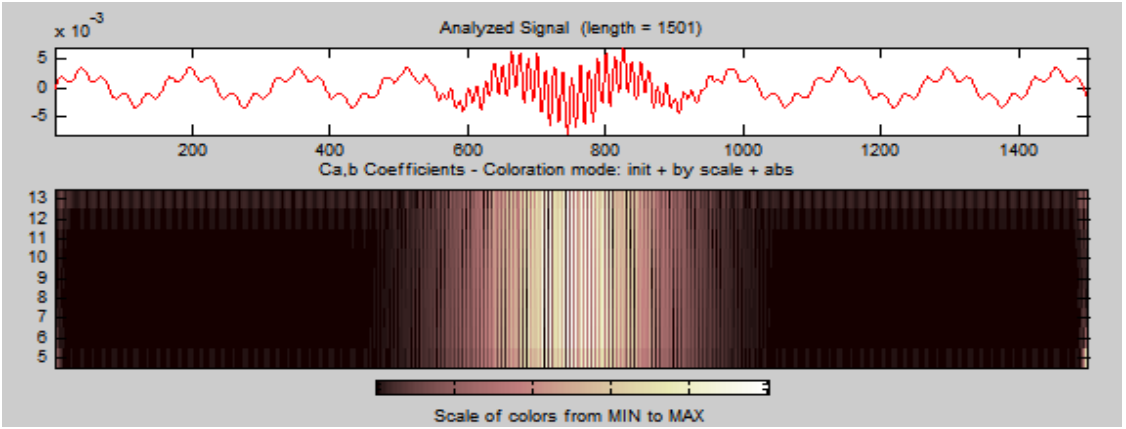


Рис.4. Спектрограмма

На основе проведенного моделирования можно сделать вывод о том, что не требуется реакция пациента, по спектрограмме можно увидеть на какой секунде пациент начинает слышать.

Таким образом, аудиометрическая диагностика слуха с включением энцефалографического канала и введение дополнительного сенсора позволит получить более объективный результат в случае пожилых людей и младенцев, так как они не смогут обеспечить адекватный ответ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Вологдин Э.И.* Слух и восприятие звука. Курс лекций. – Санкт- Петербург, 2012. – 36с.

2. [Электронный ресурс]: http://loramed.ru/zdorove/anatomiya/stroenie-uha-cheloveka.html#i-6

3. *Кропотов Ю.Д.* Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия. Учебник. — Донецк: 2010. — 512с.

4. *Сивер Дэвид* Майнд машины. Открываем заново технологию ABC. перевод: Никонов Владимир, Андрей Патрушев

5. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 3, Issue 4, April-2012

6. *Затолока П.А.* Методы исследования слуха: учеб.-метод. пособие / П.А. Затолока – Минск: БГМУ, 2009. – 256 с.

7. *Николаев С.Г.* Атлас по электромиографии. - Иваново: ИПК «ПресСто», 2010. - 468 с.

8. *Смоленцев Н.К.* Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2005 – 304 с.

ENCEPHALOGRAPHIC CHANNEL OF AN AUDIOMETER IN OTOLARYNGOLOGY

Fazulzyanova G.

gulina_faz@mail.ru

Supervisor: A. Berdnikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

Conventional diagnostic methods use an audiometer that requires a behavioral response from the subject. Therefore, it is necessary to use a method that focuses on determining the auditory threshold at different frequencies, based on the response of the brain to the auditory stimulus by means of the auditory evoked potential present in the EEG.

УДК 616.13

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПОДВИЖНОСТИ АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В КРОВЕНОСНЫХ СОСУДАХ

Хорин А.В.

10kalounge@mail.ru

Научный руководитель: А.А. Порунов, к.т.н., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В статье рассмотрены методы оценки подвижности атеросклеротического образования (бляшки). Обоснована необходимость оценки гидродинамических параметров кровотока при диагностике отрыва бляшки. Предложен вариант структурного построения системы измерения и оценки параметров подвижности атеросклеротического образования в кровеносных сосудах с описание последовательности преобразования информативных сигналов.

Анализ публикаций отечественных и зарубежных ученых и клиницистов [2-9] показывает, что одной из актуальных задач современной ангиологии и смежных специальностей является оценка подвижности атеросклеротического образования, которая может привести к возникновению реноваскулярной гипертензии, артериальной гипертензии, ишемической нефропатии, а также к нарушениям кровотока почек вследствие стеноза почечной артерии.

Традиционное ультразвуковое исследование сосудов кровоснабжения, таких органов, как почки, позволяет в клинической практике, как правило, определить локализацию, структуру, размеры, форму и осложнения атеросклеротических бляшек, степень выраженности атеросклеротических поражений каротидного бассейна [1, 3]. Прогноз состояния больных атеросклерозом во многом определяется фактором нестабильности и подвижности атеросклеротической бляшки.

Механизмы дестабилизации атеросклеротической бляшки – это комплекс процессов, основанных на морфологии бляшки и ее механических характеристиках. Малые бляшки с

тонкой фиброзной покрышкой и большим липидным ядром более подвержены разрыву, чем большие фиброзные бляшки с кальцинозом. Разрыв атеросклеротической бляшки может возникать в результате возникновения сдвиговой деформации, формирующейся на протяжении артериального русла, когда бляшки и прилежащие участки артериальной стенки имеют разные эластические свойства, разную радиальную деформацию. Воздействие сдвиговой деформации на бляшку может стимулировать выработку фиброзной ткани во внеклеточном матриксе, способствовать возникновению микротрещин, надрывов и кровоизлияний. Примером возможности определение эластических, механических свойств, подвижности атеросклеротической бляшки in vivo с помощью неинвазивных технологий, определяющих ее способность к разрыву, является способ определения подвижности атеросклеротической бляшки, предложенный в работе [2].

Сущность этого способа [2] состоит в том, что получают серию последовательных кадров ультразвукового изображения атеросклеротической бляшки в продольном сечении артерии в течение одного сердечного цикла, выполняют оконтуривание основания и поверхности бляшки на одном из начальных кадров и выделение на линии контура, по крайней мере, трех сегментов – дистального, проксимального и центрального с последующей оценкой параметров движения контуров выделенных сегментов поверхности бляшки относительно основания за период сердечного цикла посредством определения тангенциальной скорости движения сегмента бляшки, сдвиговой деформации сегмента бляшки, скорости изменения сдвиговой деформации сегмента бляшки, по которым судят о подвижности бляшки.

При оконтуривании основания за контур принимается набор точек, расстояние между которыми составляет 0,5 мм. При этом контуры выделяют только на одном изображении, на остальных изображениях точки контура определяются методом слежения за спеклами ультразвуковых изображений. На каждом этапе слежения контур сглаживается гауссовским фильтром для того, чтобы точки контура не сдвигались значительно друг относительно друга на шумных участках ультразвуковых изображений. Контур основания задает систему координат, относительно которой рассматривают движение контура поверхности бляшки. Методом наименьших квадратов по контуру основания бляшки определяют систему координат таким образом, чтобы контур наилучшим образом лежал на оси x декартовой системы координат. Начало координат системы связывают с центром масс контура, который рассчитывают как среднее арифметическое координат контура по следующей зависимости

$$C_0[x,y]=\left[\frac{\sum_N x_i}{N},\frac{\sum_N y_i}{N}\right],$$

где N – количество точек, C_0 – координаты точки центра масс контура основания бляшки.

При этом фактором, определяющим угловой момент L движения сегментов бляшки, который оценивается как векторная сумма для каждой точки контура, считая, что масса точки контура принята равной единице,

$$L=\sum_i r_i \times p_i ,$$

где r_i – радиус-вектор, проведенный к каждой точке контура из центра масс контура, p_i – импульс точки, который, принимая массу точки за 1, совпадает со значением вектора скорости.

Однако, при проведении исследований и хирургических вмешательствах необходимо иметь информацию о динамике состояния атеросклеротической бляшки [4-9]. Кроме того, измеряемые кинематические параметры только опосредованно характеризуют состояние бляшки, так как факторами, вызывающими ее деформацию являются гидродинамические силы, возникающие в результате ее взаимодействия с кровотоком. Значительным

ограничением рассмотренного способа является необходимость задания системы координат в каждый момент времени и связанный с этим вычислительный процесс.

В данной работе предлагается следующая концепция построения системы измерения и оценки параметров подвижности атеросклеротического образования в кровеносных сосудах. Суть способа, реализованного в системе, заключается в том, что, с помощью ультразвукового дуплексного сканера получают значение скорости кровотока, его биофизические параметры, оценивают эластические свойства «системы», включающей артериальную стенку, кровоток и атеросклеротическое образование, определяют структуру и морфологию атеросклеротического образования, выполняют оконтуривание основания и поверхности атеросклеротического образования, проводят серию последовательных измерений кинематических параметров кровотока в продольном сечении сосуда до и после бляшки в течение времени наблюдения, которые затем математически обрабатывают путем осреднения во времени текущих значений скорости кровотока. По полученным значениям осуществляют построение эпюры распределенных скоростей кровотока в сосуде в пределах наблюдаемого участка. Затем в соответствии с уравнениями гидродинамики потока жидкости в сосуде осуществляют определение распределенного перепада давления и осуществляют построение его эпюры в пределах длины рассматриваемого участка, на основе которой определяют силу отрыва бляшки Y в радиальном направлении, а также силу лобового сопротивления X, оказываемого кровотоком на бляшку в осевом направлении.

Далее на основании силовых факторов по закону Гука определяют величину сдвиговой деформации $\Delta\lambda$ крышки бляшки по зависимости

$$\Delta\lambda = \frac{Xl}{EF},$$

где l – длина исследуемого участка бляшки; F – площадь миделева сечения бляшки; E – модуль Юнга.

На основании полученных данных осуществляют сравнение текущего значения сдвиговой деформации с допустимым ее значением и в случае превышения этой информация служит для формирования акустического и оптического сигнала тревожной сигнализации. На основании данного способа разработана структурная схема системы измерения и оценки параметров подвижности атеросклеротического образования в кровеносных сосудах, представленная на рис.1 [10]. Последовательность процессов, реализуемых в микроконтроллере системы, согласно описанному способу показана на рис.2.

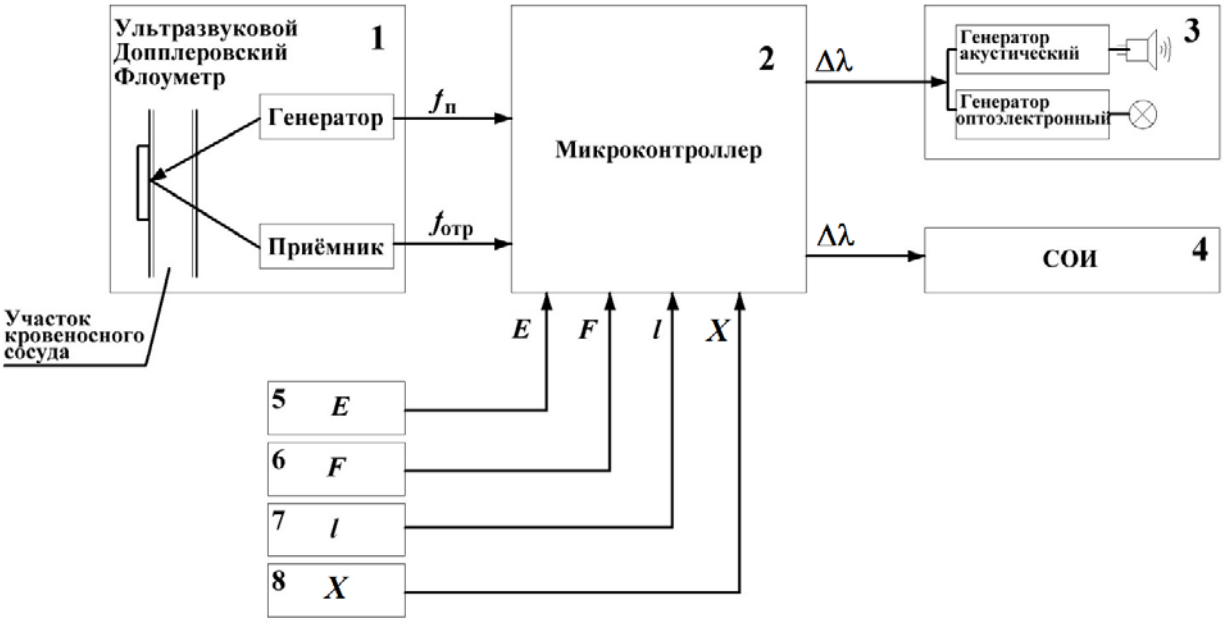


Рис.1. Структурная схема системы измерения и оценки параметров подвижности атеросклеротического образования в кровеносных сосудах



Рис.2. Структурная схема, отражающая последовательность преобразования информативных сигналов в системе

Таким образом, в работе представлены результаты разработки системы измерения и оценки параметров подвижности атеросклеротического образования в кровеносных сосудах. Данная система позволит проводить измерения и в дальнейшем оценивать в режиме реального времени параметры подвижности атеросклеротической бляшки в исследуемом кровеносном сосуде, что будет способствовать принятию своевременного решения о возможности проведения оперативного вмешательства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Цвибель В., Пеллерито Дж.* Ультразвуковое исследование сосудов, Москва, Видар, 2008. – С.159-171.

2. Способ определения подвижности АСБ //Авт. *Балахонова Т.В., Погорелова О.А.* и др. Патент РФ на изобретение №2536785. Опубл. 27.12.2014, Бюл. №36.

3. *Базаев В.В.* и др. Гемодинамические изменения в почечной артерии как критерий выбора тактики лечения нефроптоза. // Анналы хирургии. – 2015. – №1: – С.36-41.

4. *Скобцов Ю.А.* Моделирование и визуализация поведения потоков крови при патологических процессах. – 2008. – 211 с.

5. *Тагиева Н.Р., Шахнович Р.М., Миронов В.М.* Выявление нестабильных атеросклеротических бляшек в коронарных артериях с помощью инвазивных методов //Журнал Неотложная кардиология. – 2014. – №3. – С. 23.

6. *Bassiouny H., Sakaguchi Y., Mikucki S.* et al. Juxtalumenal location of plaque necrosis and neoformation in symptomatic carotid stenosis. J. Vascul. Surg. 1997; 26. – Pp.585-594.

7. *Carr S., Farb A., Pearce W.* et al. Atherosclerotic plaque rupture in symptomatic carotid artery stenosis. J.Vascul. Surg. 1996. –№ 23: Pp. 755-766.

8. *Fisher M., Paganini-Hill A., Martin A.* et al. Carotid plaque pathology. Thrombosis, ulceration and stroke pathogenesis. Stroke. 2005; 36: 253–257.

9. *Калло И.Дж., Шварц Р.С.* Механизмы и клинические проявления разрывов атеросклеротических бляшек. – 1998. – № 129. С. 105.

10. *Порунов А.А., Тюрина М.М и др.* Разработка и обоснование концепции построения системы оценки риска отрыва атеросклеротической бляшки // Тезисы докладов VII-я Международной молодежной научной школы-конференции «Современные проблемы физики и технологи», 16-21 апреля 2018 г.: Часть 2. М.: НИЯУ МИФИ, 2018. – С.115-116.

SYSTEM OF MEASUREMENT AND ESTIMATION OF PARAMETERS OF MOBILITY OF ATHEROSCLEROTIC FORMATION IN BLOOD VESSELS

Chorin A.

10kalounge@mail.ru

Supervisor: A. Porunov, Senior Lecturer, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical university. A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

The article discusses methods for assessing the mobility of atherosclerotic formation (plaque). The necessity of assessing the hydrodynamic parameters of blood flow in the diagnosis of plaque detachment is substantiated. A variant of the structural construction of the system for measuring and estimating the mobility parameters of atherosclerotic

formation in blood vessels with the description of the sequence of transformation of informative signals has been proposed.

УДК 629.7.054.44

ИЗМЕРИТЕЛЬ РАСХОДА ВОЗДУХА

Чекалов Г.П.
megachekal@mail.ru
Научный руководитель: Ф.А. Ганеев, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Рассматриваются требования предъявляемые к измерителям расхода воздуха для систем вентиляции. Предложен измеритель расхода воздуха – балометр с противодавлением. Представлены результаты разработки измерителя с беспроводной передачей результатов измерения.

Экологически чистая атмосфера является важнейшим фактором нормальной жизнедеятельности человека. Поэтому сегодня такое большое значение придается эффективным системам вентиляции и кондиционирования воздуха. Современная система вентиляции и кондиционирования в помещениях позволяет создать комфортную жизнедеятельность человека. Определению эффективности оборудования служат периодические измерения различных параметров, таких как: измерение скорости потока, давления и как итог измерение расхода воздуха. Для этой важной операции разработаны различные методики и приборы. От оптимального ресурса систем вентиляции и кондиционирования в жилом помещении зависит здоровье и самочувствие находящихся в нем людей. Течение воздуха по системе проветривания осуществляется при определенной скорости, на которую влияют многие факторы. Данный параметр, зависящий от конструкции и сечения вентиляционных каналов, является ключевым критерием для выяснения величины расхода воздуха в воздуховоде.

Целью замеров расхода воздушной массы, перемещающейся в воздуховоде в чистые жилые помещения, является фиксация объема этой массы, прибывающей внутрь комнаты в единицу времени. Расход замеряется либо после воздушных фильтров (решеток), либо непосредственно в воздуховоде. В обоих случаях производится измерение скорости движения воздушной массы (или давления) и учитывается площадь сечения трубы. В настоящее время используются множество видов измерителей расхода воздуха (расходомеров), но наиболее часто применяемым стало использование балометров. Балометр являются наиболее эксплуатируемым, точным, удобным для измерений и слабо изученным отечественными производителями и исследователями. В данный момент нет отечественных аналогов. Также в зависимости от принципа действия и типа поставленной задачи используются анемометры, дифференциальные манометры и др.

К измерителям расхода воздуха предъявляются следующие основные требования:

- однозначная зависимость выходной величины от входной;
- стабильность характеристик во времени;
- высокая чувствительность;
- малые размеры и масса;
- отсутствие обратного воздействия на контролируемый процесс и на контролируемый параметр.

Если для подачи воздуха в чистое помещение применяют воздухораспределители, то неравномерность движения воздуха вокруг диффузоров, и вследствие этого неравномерность скоростей, делают практически невозможным измерение объема подаваемого воздуха с помощью анемометра. При подаче воздуха через финишный воздушный фильтр без использования воздухораспределителей, можно определить объем воздуха, измерив среднюю скорость воздуха. Однако, из-за неоднородности скорости воздуха в различных

точках поперечного сечения и по краям фильтра, определение средней скорости воздуха становится трудоемким процессом. При вычислении объема воздуха таким способом возрастает погрешность определения объема воздуха как из-за погрешности измерения средней скорости воздушного потока, так и из-за погрешности вычисления площади фильтра.

В таких случаях для измерения объема, подаваемого и удаляемого воздуха, лучше всего использовать электронный прибор, называемый балометром, его структурно-функциональная схема представлена на рис.1.

Балометр представляет собой объемный расходомер, который состоит из основания воронки (обычно сделанного из пластика) и тканевого колпака. Он используется для измерения объема газа (воздуха), протекающего за период времени, и используется, например, для тестирования и регулировки систем вентиляции. Термин Balometer (балометр) является неологизмом компании ALNOR, которая уже защитила этот термин в 1983 году в США в качестве товарного знака. Из-за монопольного положения этой компании и различных слияний слово Balometer превращается в своего рода синоним.

Метод основан на согласовании давления внутренней полости камеры с давлением вне камеры (атмосферным давлением), а именно на перепаде давления внутри камеры и атмосферным давлением (вне камеры). В свою очередь вентилятор подбирает расход воздуха (создается противодавление), при котором давление в камере будет равно атмосферному, что позволяет, условно говоря, исключить сопротивление самой воронки. Измерение расхода воздуха в этом случае очень точное.

Измеритель расхода воздуха состоит из герметичного корпуса 1 кубической формы объемом около 50 литров, имеющего два отверстия. На одном из них имеется стыковочный узел, размеры которого равны входной части аспирационной камеры 2. К другому отверстию присоединена воздухозаборная трубка 3, внутри которой размещен датчик измерителя расхода 4. На другом конце трубки расположен нагнетатель воздуха 5 со схемой управления 6, позволяющий плавно изменять количество воздуха, засасываемого внутрь корпуса 1. Кроме того, внутри имеется датчик перепада давления 7, который регистрирует разность давления между внутренней полостью корпуса 1 и атмосферой. Работой всей установки в целом управляет персональный компьютер 8.

Принцип измерения объемного расхода заключается в следующем. При подаче воздуха, он начинает прокачиваться вентилятором аспирационной камеры через аспирационную камеру. Так как корпус установки герметичен, то его объемный расход, регистрируемый расходомером 4, в любой момент времени равен объемному расходу воздуха через аспирационную камеру. Давление в корпусе установки в этом случае меньше атмосферного. Постепенно увеличивают обороты двигателя нагнетателя 5 до тех пор, пока датчик перепада давления не покажет, что давление в камере равно атмосферному. В этом случае объемный расход аспирационной камеры можно определить по показаниям расходомера.

К датчику перепада давления требуется иметь высокую чувствительность. В качестве датчика перепада давления в установке используется струйно-конвективный датчик на основе полупроводникового термоанеморезистора. Такой датчик обладает весьма большой чувствительностью.

От характеристик расходомера во многом зависит результирующая точность измерения. В данном случае к нему предъявляется ряд специфических требований, а именно: малое гидродинамическое сопротивление, высокая точность в небольшом диапазоне расходов, хорошие динамические свойства. Учитывая все перечисленные требования, для работы в составе установки был выбран ионно – меточный расходомер. Определяющим преимуществом ионно-меточного датчика является отсутствие подвижных механических элементов, отсутствие препятствующих течению потока конструктивных элементов, т.е. элементов, создающих гидродинамическое сопротивление, стабильность метрологических характеристик и высокая точность преобразования при простой конструкции прибора.

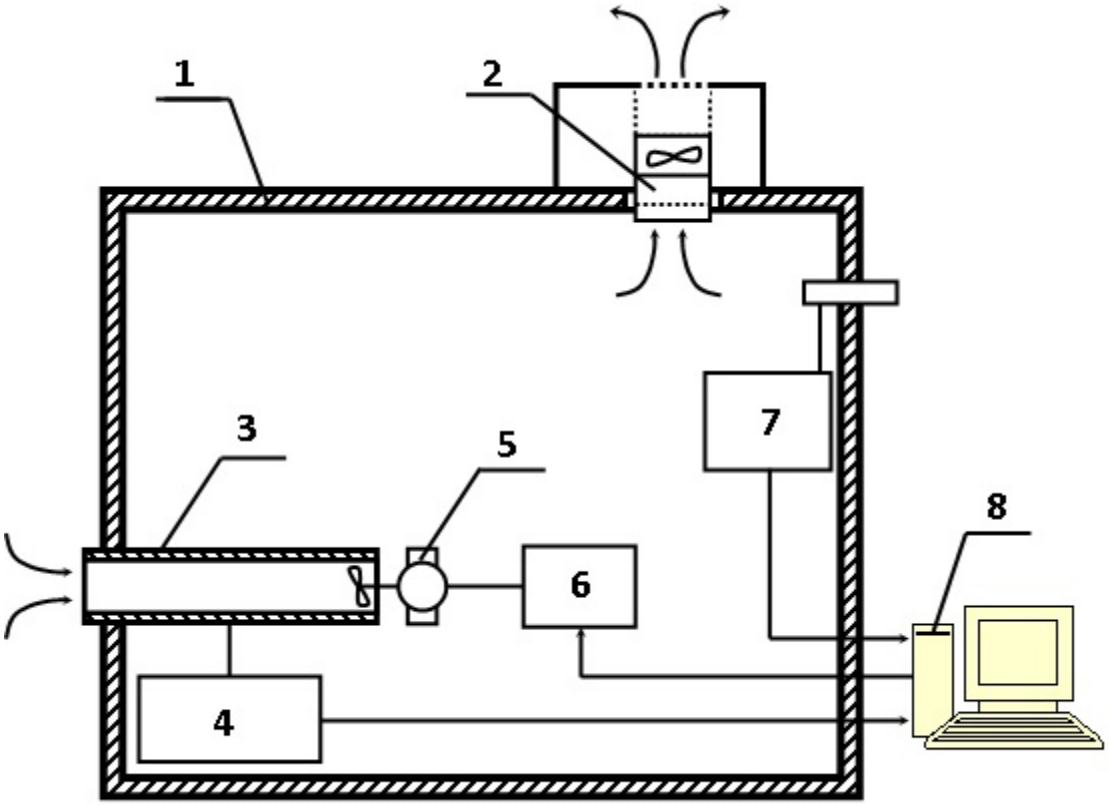


Рис. 1 Структурно-функциональная схема измерителя расхода воздуха

Для достижения высокой точности и хороших динамических характеристик в составе данной установки используется ионно-меточный расходомер с дифференциальным регистратором, что обеспечивает нечувствительность к изменению заряда метки во времени, высокое быстродействие и хорошее соотношение сигнал/шум.

Этот метод является слабо изученным отечественными производителями, перспективным в плане точности измерения и надежности, обеспечивает отличные массогабаритные характеристики, что делают балометр удобным, портативным расходомером, а также актуальным на данный момент.

Измеритель расхода воздуха показал линейные характеристики, обладает высокой точностью, конкурентоспособен при условии, что оно будет компактным и удобным в использовании. Конечная стоимость этого устройства будет значительно меньше, чем у ведущих компаний.

Для обеспечения удобства эксплуатации разработаны аппаратные средства беспроводной передачи (wi-fi, bluetooth), хранения и обработки результатов измерения на планшетный компьютер, ноутбук или смартфон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Трохан А.М.* Гидроаэрофизические измерения. – М.: Издательства стандартов, 1981. - 336 с.

2. Патент РФ на полезную модель №166715, МПК G01P 5/18 , Ионно-меточный измеритель скорости воздушного потока/ *Ганеев Ф.А., Ганеев Т.Ф., Миннебаев М.Р., Уразбахтин И.Р.* Заявл. 04.07.2016. Опубл. 10.12.2016. –Бюл.№34.

3. *Ганеев Ф.А., Маковеев В.М., Уразбахтин И.Р., Файзулов Б.Ф.* Установка для измерения расхода воздуха аспирационной камеры счетчика аэроионов с ионно-меточным расходомером.// Электронное приборостроение. Научно-практический сборник. Выпуск 5(39) – Казань: ЗАО «Новое знание», 2004г.

AIR FLOW METER

Chekalov G.
megachekal@mail.ru
Supervisor***:*** F. Ganeev., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

This report is about the requirements which shown to measurers of air flow for ventilation systems. The balometer with back pressure is proposed. There is shown the development results of measurer with wireless broadcast of measurement results.

УДК 57.081.23

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ КОЖНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ НА ЗЛОКАЧЕСТВЕННОСТЬ

Шарафиев У.Г.
urazsharafiev1997@mail.ru
Научный руководитель: А.В. Бердников, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В работе показана актуальность своевременной диагностики кожных новообразований на злокачественность или доброкачественность. Представлены результаты системотехнического синтеза программно-аппаратного устройства для диагностики кожных новообразований на злокачественность или доброкачественность, путем измерения его сопротивления.

Под кожными новообразованиями понимают поражения кожи опухолевой природы доброкачественного или злокачественного происхождения, возникшие из-за аномального разрастания клеток дермы. В основном кожные доброкачественные новообразования стараются сразу же удалять. Потому что любое повреждение или попадание солнечных лучей на них может привести к тяжелым последствиям [1].

Злокачественные новообразования бывают различных типов, но самой опасной считается «меланома». По некоторым источникам, в мире от данного типа опухолей заболевает около 200 000 человек ежегодно, 65 000 из которых умирают. За последние 10 лет, только в России зарегистрирован прирост заболеваний данным видом рака на 38 %. Исходя из этого, можно сказать, что разработка устройств и систем для диагностики новообразований различного типа является актуальной проблемой.

В рамках научно-исследовательской работы по диагностике онкологических заболеваний был проведен анализ методов и средств диагностирования кожного покрова [2]. В результате патентного поиска был выявлен перспективный метод диагностики опухолей [3].

В основе данного метода лежит способ дифференциальной диагностики опухолей у животных путем пунктирования опухоли и ее исследования. В опухоль чрескожно вводят игольчатые электроды с активным токопроводящим концом и, по мере их продвижения вглубь опухоли, пятикратно измеряют показатели биоимпеданса (БИМ) на частоте тока 2 кГц и напряжении 1,02В. Если при проведении электродов вглубь показатели БИМ постепенно уменьшаются, то опухоль является доброкачественной, если показатели БИМ колеблются либо увеличиваются, то опухоль является злокачественной.

На основе описанной методики была разработана структурная схема устройства для диагностики кожных новообразований на злокачественность путем измерения сопротивления, представленная на рис. 1.

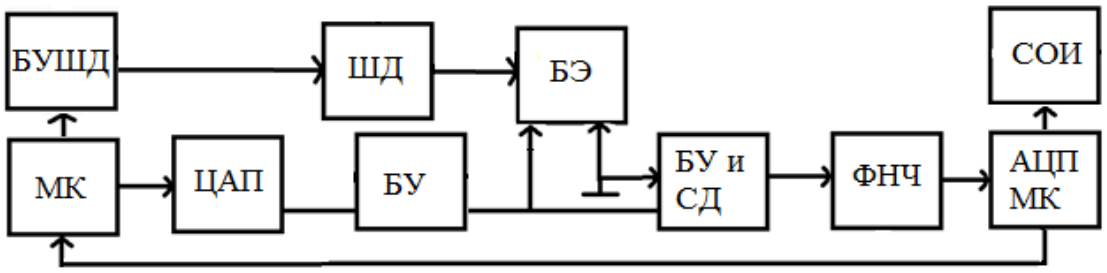


Рис.1. Структурная схема устройства для диагностики кожных новообразований на злокачественность и доброкачественность

На рисунке использованы следующие обозначения: МК – микроконтроллер, предназначенный для управления; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; БУ – блок усиления; БЭ – блок электродов; БУ и СД – блок усиления и синхронный детектор; ФНЧ – фильтр низких частот; АЦП МК - аналогово-цифровой преобразователь микроконтроллера; СОИ – средство отображения информации; БУШД – блок управления шаговым двигателем; ШД – шаговый двигатель.

Принцип работы данной схемы заключается в следующем: устройство для измерения электрических параметров участка тела человека содержит два токопроводящих электрода для размещения на теле человека, операционный усилитель, микроконтроллер, цифро-аналоговый преобразователь, блок управления шаговым двигателем, синхронный детектор, шаговый двигатель.

Микроконтроллер выполнен с возможностью работы в режиме измерения разности потенциалов между участками кожи тела человека. Дополнительно МК служит для задания частоты зондирующего тока, также МК служит как АЦП, для вывода на экран результатов измерения.

Электроды включены в цепь отрицательной обратной связи операционного усилителя, неинвертирующий вход которого подключен к нулевому потенциалу, выход подключен к входу аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера, а инвертирующий вход через резистор подключен к порту ввода-вывода микроконтроллера. В режиме измерения импеданса участка тела человека микроконтроллер на выходе порта ввода-вывода обеспечивает формирование сигнала заданной частоты, на которой измеряют импеданс. В режиме измерения активного сопротивления кожи человека микроконтроллер на выходе порта ввода-вывода обеспечивает формирование сигнала постоянного напряжения.

Обычно при переменном токе промышленной частоты учитывают лишь активное сопротивление тела человека и принимают его равной 1000 Ом. В действительности это сопротивление — величина переменная, имеющая нелинейную зависимость от множества факторов, в том числе от состояния кожи, параметров электрической цепи, физиологических факторов и состояния окружающей среды.

Повышение напряжения, приложенного к телу человека, вызывает уменьшение в десятки раз сопротивления кожи, а следовательно, и полного сопротивления тела человека, приближающегося в пределе к своему наименьшему значению — 300-500 Ом.

Для устранения фазового сдвига в модели был использован синхронный детектор. С помощью данного устройства убирается фазовый сдвиг между током и напряжением.

В основе нашей работы лежат результаты диагностирования кожных новообразований на злокачественность путем измерения БИМ с погружением токопроводящих электродов вглубь кожного покрова. С углублением в кожный покров БИМ у доброкачественных образований уменьшается, а у злокачественных соответственно увеличивается. При колебании результатов тоже наблюдается злокачественная опухоль.

Результаты измерений на трёх разных БО показаны на рисунке 2.

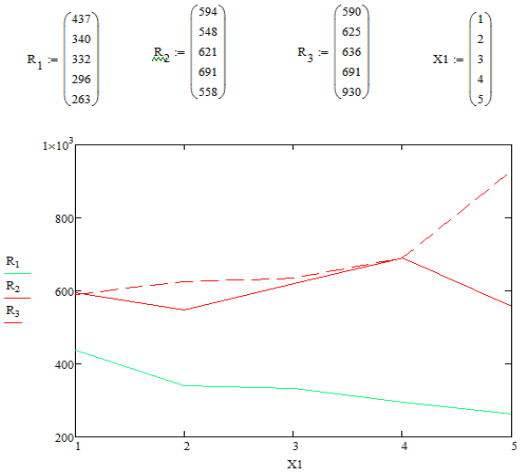


Рис.2 Результаты измерения на трёх разных БО

По графикам измерений сопротивления новообразований на 3 х разных БО, можно сделать вывод о том, что новообразование на первом БО является доброкачественной, а на остальных 2-х злокачественной.

Таким образом, в работе представлены результаты системотехнической и конструкторской разработки программно-аппаратного устройства, для диагностики кожных новообразований на злокачественность, позволяющего с высокой степенью достоверности диагностировать тип исследуемой кожной опухоли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Шарафиев У.Г., Гилязов А.И*. Измеритель параметров кожных новообразовани // Наука и практика: проектная деятельность - от идеи до внедрения: материалы региональной науч.-прак. конф., Томск, 2018. - Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2018. – 130-132 с.

2. *Семенова Е.П., Тюрина М.М.* Анализ современных методов исследования биомеханических свойств кожного покрова // Новые технологии и проблемы технических наук. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции № 3. – Красноярск, 2016. – 155-158 с.

3. Патент №2373858 способ диагностики первичных меланом кожи //*Афанасьев Борис Петрович (RU), Москалик Константин Григорьевич (RU), Козлов Александр Петрович (RU)*//2009

DEVELOPMENT OF SOFTWARE AND HARDWARE DEVICE FOR DIAGNOSTIC STYLES OF THE SKIN NON-FORMATIONS ON MALIGNANCY

Sharafiev Uraz

urazsharafiev1997@mail.ru

Supervisor: Aleksey Berdnikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

The paper shows the relevance of timely diagnosis of skin tumors for malignancy or benignity. The results of the system-based synthesis of a software and hardware device for diagnosing skin tumors for malignancy or benignity are presented by measuring its resistance.

УДК 616.34-007.272.001.6

ОПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ БИОТКАНИ

Юнусов Н.А., Ворошнин Д.И.
apach236@yandex.ru
Научный руководитель: А.В. Бердников, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

В статье решается проблема повышения объективности визуального анализа внутренних органов во время операции. В результате анализа авторы обнаружили, что спектральные исследования в видимом спектре позволяют практикующему хирургу определить наличие патологий внутренних органов, а также расположение их границ.

Некроз – нередкое явление, причинами которого может стать нарушение венозного или артериального кровообращения, заражение микробами. В списке причин выделяют и заболевания центральной нервной системы. Уменьшение проходимости кишки, например, предполагает ухудшение состояния работы кишечника, снижение иммунитета, нарушение обмена веществ и является благоприятным фактором для развития некротических процессов и распространения его на ткани других органов пищеварительного тракта [1].

Ошибки операционной диагностики свидетельствуют, что по таким видимым признакам, как окраска, перистальтика, блеск серозного покрова не всегда можно судить о жизнеспособности органа. Определение жизнеспособности тканей создает значительные трудности и является поводом для ошибок, нередко с серьезными или опасными последствиями. Поэтому необходимо точно определять границы некроза при ампутации отмерших участков кишечника.

Оптические методы диагностики биологических тканей становятся все более распространенными и широко применяются в биологии и медицине. С помощью оптического излучения можно получать информацию о структуре, составе и свойствах биологических тканей, изучать процессы, которые происходят в них, не оказывая негативного воздействия на биоткани [3]. Биологические ткани имеют сложную структуру, представляющую собой комплексы различных веществ, волокон и внутритканевой жидкости, они представляют собой оптически неоднородные среды. Нарушение отражательной способности, истончение слизистой оболочки верхних слоев тканей пораженных органов может считаться информативным фактором и использоваться при определении функционального состояния органов. В данной работе рассматривается оптоэлектронная система, позволяющая оценить состояние внутренних органов.

Практически каждое описание процессов некроза в каждом источнике сопровождается указанием основных изменений, происходящих в ткани. Один из основных параметров – изменение цвета исследуемого участка (здоровый участок – розового цвета, имеет блеск; подверженный патогенным воздействиям – темнеет, появляются черные пятна, блеск пропадает) [2].

По моему мнению, данный фактор – очень значимый, однако во многих работах отмечается субъективность определения границ некроза, при принятии решения, опираясь на цвет. Во многом определяющую роль играет опыт хирурга.

Несмотря на наличие технических решений, до настоящего времени еще в большинстве клиник пользуются рутинными простейшими методами, которые основаны на оценке внешнего вида пораженного участка кишки: цвет, блеск, перистальтик [2]. На основании вышесказанного можно сделать вывод, что существует потребность в создании точного и надежного устройства для определения жизнеспособности тканей.

Однако перечисленные признаки допускают субъективность в диагностике и, следовательно, не исключают возможность ошибки при определении жизнеспособности органа.

Предлагаемое решение относится к медицине и может быть использовано для получения информации о функциональном состоянии исследуемого участка внутреннего органа.

Устройство для определения цвета состоит из цифровой камеры и программы, разработанной в среде LabView. Блок-диаграмма разработанного виртуального прибора представлена на рис. 1. Для проведения исследования возможно освещение исследуемого участка операционным источником белого света.

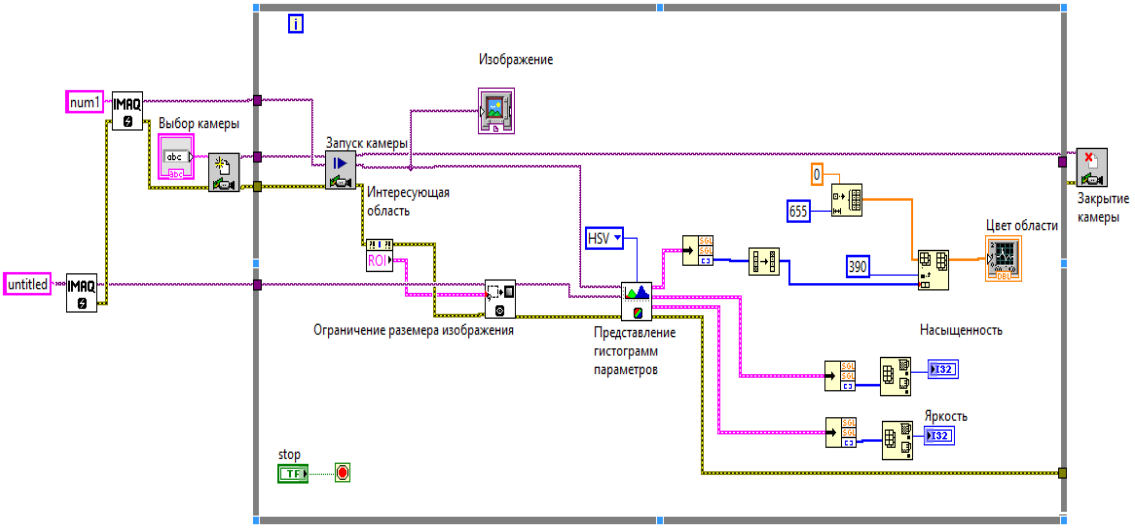


Рис. 1. Блок-диаграмма виртуального прибора для определения цвета ткани, разработанная в среде LabView.

Информация о характеристике регистрируемых волн видимого диапазона регистрируется цифровой камерой, которая преобразует получаемый сигнал в цифровую форму в кодировке RGB. RGB – аддитивная цветовая модель, как правило, описывающая способ кодирования цвета для цветовоспроизведения с помощью трёх цветов, которые принято называть основными [6]. Такое представление цвета позволяет обрабатывать информацию о нем, оперируя 3х-мерными векторами, однако восприятие человеком информации о цвете затруднено, так как информация о цветности и яркости поступает в смешанном виде.

Анализ существующих цветовых моделей позволил определить наиболее предпочтительные, позволяющие получать наглядное представление о кодируемом цвете. Так, была выбрана цветовая модель HSV – цветовая модель, в которой координатами цвета являются [6]:

Hue — цветовой тон, (например, красный, зелёный или сине-голубой). Варьируется в пределах 0—360°, однако иногда приводится к диапазону 0—100.

Saturation — насыщенность. Варьируется в пределах 0—100. Чем больше этот параметр, тем «чище» цвет, поэтому этот параметр иногда называют чистотой цвета. А чем ближе этот параметр к нулю, тем ближе цвет к нейтральному серому.

Value (значение цвета) или Brightness — яркость.

Как видно, за передачу цвета в данной цветовой модели отвечает лишь один параметр Hue, что позволяет наглядно представлять цвет наиболее близко по интерпретации к длине волны, что облегчает восприятие информации и интерпретацию результатов.

Кодировка информации в цифровом формате единообразно определяет регистрируемый цвет интересующего объекта, что позволяет лишить измерения субъективизма, присущего оценке состояния тканей человеком.

Итак, при помощи виртуального прибора и цифровой камеры были получены снимки участков кишечника человека, представленные ниже. Изображения получены в ходе оперативных вмешательств, предоставлены ГАУЗ «ГКБ №7» г. Казань. На рис. 2 представлено изображение лицевой панели виртуального прибора, на которой находятся изображение, получаемое с камеры, на нем можно выбрать область интереса. Справа – численные значения параметров цвета для цветовой модели HSV. Значение параметра

цветности представлено в наиболее близком к длине волны виде. Внизу – распределение цветности пикселей в выбранной области.

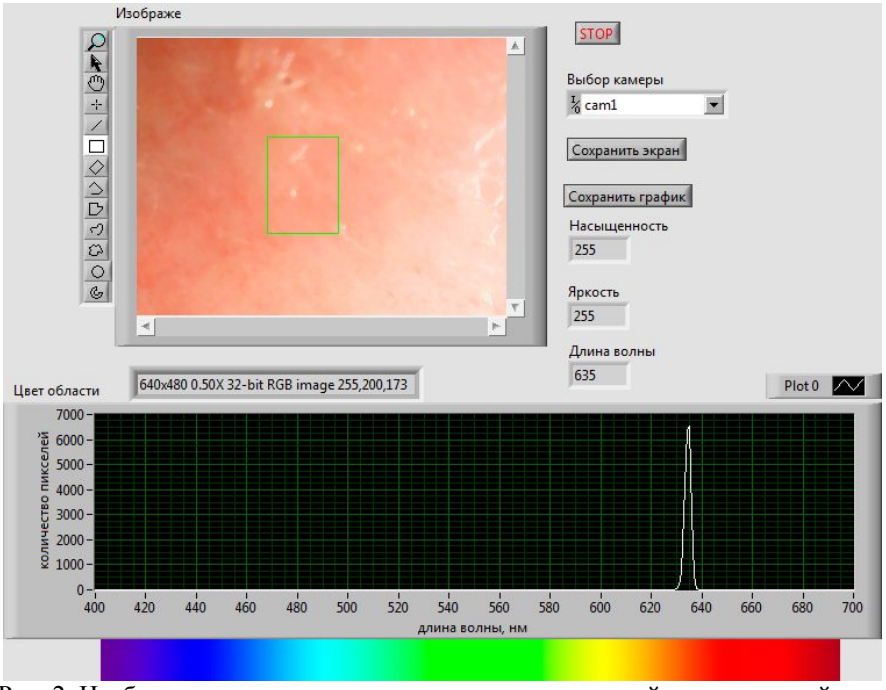


Рис. 2. Изображение здорового участка кишки на лицевой панели устройства.

Как видно из рисунка 2, здоровый участок кишки обладает розовым цветом, что подтверждается и количественными значениями (длина волны, отражаемого тканью, во всех случаях порядка 640 нм, насыщенность и яркость области интереса близки к своим максимальным значениям).

В ходе экспериментов были исследованы 36 пациентов, для которых были получены изображения и значения цветности для здоровых участков кишечника.

На основе полученных данных была построена гистограмма распределения частот параметра цветности (рис. 3). Была проведена статистическая обработка данных.

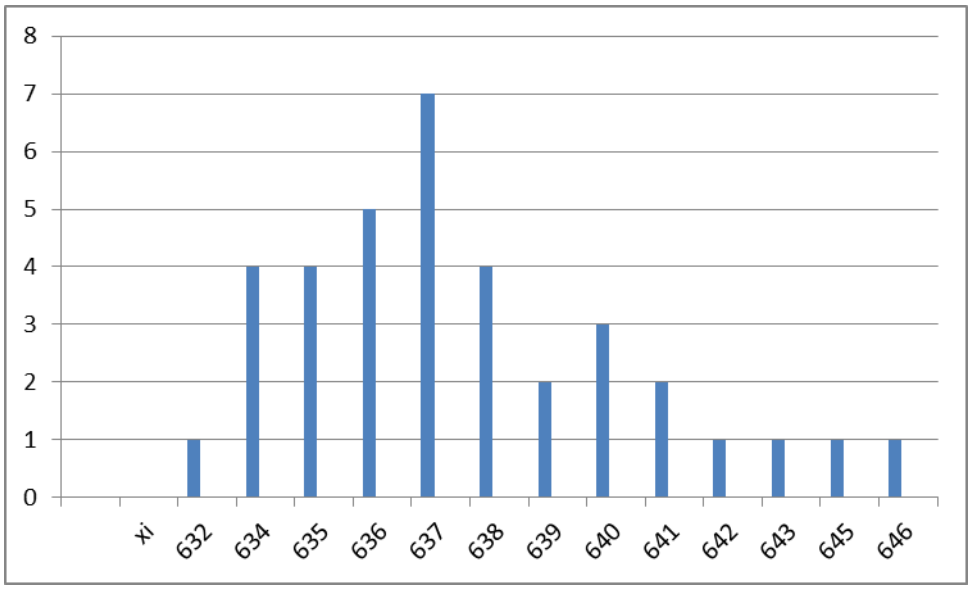


Рис. 3. Гистограмма распределения частот элементов выборки.

В ходе проверки гипотезы о законе распределения значений выборки было выявлено, что по критерию Пирсона она отвергается. Однако проверка гипотезы о распределении X по нормальному закону с помощью правила 3-х сигм дает положительный результат – Каждое

значение ряда отличается от среднего значения 638 в среднем на 3.093. Среднее значение примерно равно моде и медиане, что свидетельствует о нормальном распределении выборки. Значения As и Ex мало отличаются от нуля. Поэтому можно предположить близость данной выборки к нормальному распределению.

Оптические методы диагностики биологических тканей становятся все более распространенными и широко применяются в биологии и медицине. С помощью оптического излучения можно получать информацию о структуре, составе и свойствах биологических тканей, изучать процессы, которые происходят в них, не оказывая негативного воздействия на биоткани.

В результате, интеграция диагностических методов с использованием излучения в видимом спектре может значительно повысить информативность результатов и, следовательно, объективность диагностики. Цветовая дифференциация частей органов позволяет сформировать заключение о наличии воспалительного процесса путем изменения цвета биоткани. Было обнаружено, что распределение значений цветности близко к нормальному, поэтому данные, близкие к среднему значению (638) образца, можно считать показателем хорошей здоровой ткани.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Некроз, как патологическая форма клеточной смерти [Электронный ресурс]: Новости по анатомии и физиологии. – URL: http://anfiz.ru/ekzamen/item/f00/s00/z0000001/st008.shtml (Дата обращения: 19.10.2018)

2. *Хай Г.А.* Ассистирование при хирургических операциях / Г. А. Хай. - СПб.: Гиппократ, 1998. - 382 с. : ил.; ISBN 5-8232-0187-7

3. *Dunaev A.V.* Opticheskaya neinvazivnaya diagnostika v mediko-biologicheskoj praktike: laboratornyj praktikum [Optical non-invasive diagnostics in biomedical practice: a laboratory workshop]. Orel: Oryol State University named after I.S. Turgenev, 2016. 96p.

4. *Berdnikov A.V.,* Nazmutdinova N.M., Yunusov N.A. Optical diagnostics of biotissues. Bulletin of scientific conferences. 2018. No. 6-2 (34). Prospects for the development of science and education: based on the materials of the international scientific-practical conference on June 30, 2018. Part 2. 210p.

5. *Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А.* Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabView IMAQ Vision, Москва: DMK Press, 464с.

6. RGB [Электронный ресурс]: Википедия – свободная энцикопедия – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/RGB (Дата обращения: 20.11.2018)

OPTICAL DEVICE FOR DETERMINING THE VIABILITY OF BIOLOGICAL TISSUE

Yunusov, N., Voroshnin D.

apach236@yandex.ru

Supervisor: A. Berdnikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

The article solves the problem of increasing the objectivity of the visual analysis of internal organs during surgery. As a result of the analysis, the authors found that spectral research in the visible spectrum allows the practicing surgeon to determine the presence of pathologies of internal organs, as well as the location of their boundaries.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 2
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ПОДСЕКЦИЯ 2.4
НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ

Абанина Д.Д.
ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРАДИЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ТИТАНА МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ……...5
Аладьева З.Б.
ВНЕДРЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНУ……...9
Аладьева З.Б., Сайко А.М.
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ…….11
Ахметвалеева А.Р.
СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР В УТОПЛЕННОЙ В МАЗУТЕ ДУГЕ……...14
Бабушкин И.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ МОТОРА СПРИНГА ОТ ОСВЕЩЕННОСТИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ И ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИСТОЧНИКА СВЕТА……...16
Баграшова В.А.
ПРИРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ…….21
Балмасов И.А., Семенова Н.Ю.
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СНИЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ЗАМЕТНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ…….24
Валеева Д.Р.
СТРУКТУРЫ С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ КАК ОБЪЕКТ НАУЧНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНТЕРЕСА……28
Гайфутдинов С.А., Кирушин А.Л.
ПЛЕНКА ЛЕНГМЮРА-БЛОДЖЕТТ И МЕТОДЫ ЕЕ ПЕРЕНОСА НА ТВЕРДУЮ ПОДЛОЖКУ……..31
Домрачева Ю.К., Валеева Д.Р.
ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ АНИМАЦИИ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ КВАНТОВЫХ ЭФФЕКТОВ В НАНОСТРУКТУРАХ……34
Зылева М.А.
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ПОКРЫТИЯ ОБКЛАДОК ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ……...37
Иванова М.Р.
НАНЕСЕНИЕ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ СТАЛИ……40
Калеева А.А.
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕРМАНИЕВЫХ НАНОСТРУКТУР В ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ……..43
Калеева А.А.
СИНТЕЗ КРЕМНИЕВЫХ НАНОСТРУКТУР ДЛЯ АНОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АККУМУЛЯТОРАХ……45
Копп Д.О., Масагутов А.А.
КОНСТРУИРОВАНИЕ КАТУШКИ ТЕСЛА……48
Кузнецова В.В.
РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОГО АНТИОТРАЖАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ…… 51

Латыпов Э.Р.
РОЛЬ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРОНИКЕ……...57
Марков М.А., Быкова А.Д.
ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ УПРОЧНЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ОКСИДИРОВАНИЯ……59
Машуков Д.В., Сапрыкин В.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПЛАЗМЕННОГО ШАРА…….64
Морозов Д.С.
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В АВИАСТРОЕНИИ……...66
Набиуллин Э.И., Латипов Р.Х.
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТРУБОК…….69
Обверткин И.В., Пасечник К.А.
СОЗДАНИЕ РАЗМЕРОСТАБИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ……...73
Пинчук Г.Р.
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ……..75
Поликарпова К.С., Хайруллин А.Р.
ПРОРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ Al2O3……..80
Сагадиева С.М., Гайнуллин Р.Р., Мальцев А.А.
ЭЛЕМЕНТЫ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК…...83
Садыкова К.С., Хасьянов Т.А.
ЗАГАДКА ШАРОВОЙ МОЛНИИ……...…….86
Сафин И.Р., Халилов Р.Р.
ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МИКРОСКОПНОЙ ТЕХНИКИ……...……..89
Сурков Н.В., Септо Д.В.
ТЕХНОЛОГИЯ NANO CELL……...……93
Толеубаев Н.Е., Афандиева С.Н.
НАНОМЕДИЦИНА……95
Фаретдинов И.С., Сафин И.Р., Николаев В.С.
QLED ИЛИ ДИСПЛЕИ НА КВАНТОВЫХ ТОЧКАХ – ПОЧЕМУ ЗА НИМИ БУДУЩЕЕ?.....100
Халфина Г.Х., Ханнанов И.И.
ТЕХНОЛОГИЯ 3DПЕЧАТИ……...……..103
Шайхулмарданов А.В.
ОБРАБОТКА СЛОЯ МАЗУТА ПРИ ПОМОЩИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ РАЗРЯДА С ЖИДКИМ ЭЛЕКТРОДОМ…….……..105
Шакиров Ш.Т., Юнусов Р.Р.
РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ……..……108
Юдаева В.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОЗРАЧНЫХ ЭКРАНИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЕВЫХ ВОЛОКОН…….112

ПОДСЕКЦИЯ 2.5
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Абросимов Ю.Г.
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ…….……117
Бадриев А.Д., Шакиров И.А.
РОЛЬ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ В МОДЕРНИЗАЦИИ И РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ РОССИЙСКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ……120
Бариева Д.Р., Трутнева А.А.
МЕХАНИЗМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ В ЦИФРОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ…….123
Бердник А.В.
ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ МЕХАНИЗМА ВВОДА РЕМОНТНОГО СОСТАВА В СИСТЕМЕ TEAMCENTER……...126
Габитов Э.И.
ФАКТОРЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕХОДА ПРЕДПРИЯТИЙ К ЦИФРОВОМУ ПРОИЗВОДСТВУ……128
Захматова И.В.
ПРОЦЕСС УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИЯМИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ……..131
Зяблицев В.М.
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕХОВ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ……..137
Ибятов К.И., Мазитова К.Д., Шарипов А.Р.
ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА……140
Капитанов А.В., Козлова А.В.
СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ……..143
Митрофанова Д.В., Овчинников А.Е.
ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И СТРАТЕГИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ КАК ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ НАУКОЁМКОГО ПРОИЗВОДСТВА……147
Трутнева А.А.
ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ…….150

СЕКЦИЯ 3
ТЕПЛОТЕХНИКА, ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

ПОДСЕКЦИЯ 3.1
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ И ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

Аблаев А.Р.
АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИКИ В СУДОВЫХ ОХЛАДИТЕЛЯХ МАСЛА И ВОДЫ……...156

Аксянов Р.А., Коханова Ю.С.
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ
И СМАЧИВАЕМОСТИ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
НА ТЕПЛООТДАЧУ И КРИТИЧЕСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ……...160
Алтунин К.В., Калимуллин Р.Р., Зырянов С.П.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ
СИСТЕМ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ПОВЫШЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ……..166
Анкудимов В. В. , Сейид Джафари С. С.
МАЛОРАЗМЕРНЫЙ ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ
ДЛЯ ЛЁГКОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА……..170
Анкудимов В. В.
РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОРАЗМЕРНОЙ
ПРОТИВОТОЧНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ……..174
Антонов Н.Е.
ТРЕБУЕМОЕ ЧИСЛО ЯЧЕЕК СЕТОЧНОЙ МОДЕЛИ
ПРИ РЕШЕНИИ НЕАДИАБАТНЫХ ЗАДАЧ…….178
Асташев С.И.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННОГО
АППАРАТА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ……181
Ахмед Хирш Салим А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОБЩЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
КОМПРЕССОРА И ТУРБИНЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ ГТД TJ-100 ДЛЯ МНОГОРЕЖИМНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ……...186
Ахунов А.А.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В КАНАЛЕ
С ЛУНОЧНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА……189
Бузин В.М., Акунец М.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫПУСКА
ОХЛАДИТЕЛЯ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТЕРЬ…….192
Волков А.А, Акунец М.В., Бузин В.М.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЧИСЛЕННОЙ
МОДЕЛИ СОПЛОВОГО АППАРАТА НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА……...……197
Гарифуллин К.И., Березин В.В, Калимуллин Р.Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕННОГО
АППАРАТА СИСТЕМЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ…….....201
Данильчик Е.С.
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СВОБОДНО-КОНВЕКТИВНОЙ
ТЕПЛООТДАЧИ КРУГЛОРЕБРИСТОЙ ТРУБЫ И ОДНОРЯДНОГО
ПУЧКА ИЗ ЭТИХ ТРУБ С РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТОЙ ОРЕБРЕНИЯ……..205
Замалиева Д.А., Ерзиков А.М.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ
РОТОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ АВИАЦИОННЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК…….211
Золотов А.С., Салахов Р.Р.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПОРИСТОГО ТЕЛА
ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ……..215
Калимуллин Р.Р.
РАЗРАБОТКА ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА
ДЛЯ ПРЕДПУСКОВОГО ГАЗОВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ…….218

Каргапольцев В.В., Будин А.Г., Позолотин А.П.
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПРИ ГОРЕНИИ ПММА В ВЫСОКОЭНТАЛЬПИЙНОМ ПОТОКЕ……223
Картас С.С., Александров Ю.Б.
СРАВНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КРИВОЛИНЕЙНОГО
И ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ЭЖЕКТОРОВ……..226
Кузин А.А., Нестеров П.И.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ
В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ……...229
Ли Цзывань, Юсеф В.М.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУЧШЕЙ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ
ДЛЯ РАСЧЕТА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА ПЛАМЕНИ……...232
Львов М.В., Каськов А.С., Кошелев Д.В.
РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ СИСТЕМ
СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО
И АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ……..237
Мадышев И.Н., Хафизова А.И., Дмитриева О.С.
ИССЛЕДОВАНИЯ СЕПАРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
СТРУЙНО-ПЛЕНОЧНОГО КОНТАКТНОГО УСТРОЙСТВА……243
Маршалова Г. С.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООТДАЧИ ЧЕТЫРЕХРЯДНЫХ
ПУЧКОВ ОРЕБРЕННЫХ ТРУБ АППАРАТОВ
ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ С ВЫТЯЖНОЙ ШАХТОЙ……...……...…..247
Маршалова Г.С., Баранова Т.А., Чорный А.Д.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА
РАДИАТОРА ОХЛАЖДЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ……252
Миронов А.А., Кадыров Р.Г.
ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВИХРЕГЕНЕРАТОРОВ..256
Нгуен Т.Д., Александров Ю.Б., Сулаиман А.И.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ СТЕНОК В ОБЛАСТИ
НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ
ИМИТИРУЮЩЕЙ СМЕШЕНИЕ ПОТОКОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГТД……262
Новикова Ю.Д, Зубанов В.М., Поветкин И.С.
СОЗДАНИЕ АЛГОРИТМА РАСЧЁТА СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ
СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ И ТУРБОСТАРТЕРА……...267
Попов Г.М., Кудряшов И.А., Сулейманов А.Р.
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЛОПАТОК ОСЕВОГО
КОМПРЕССОРА……270
Скрыпник А.Н.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ОРЕБРЕННЫХ ПЛОСКИХ ТРУБ АППАРАТА ВОЗДУШНОГО
ОХЛАЖДЕНИЯ МАСЛА……..273
Скрыпник А. Н.
ОБОБЩАЮЩИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ И ТЕПЛООТДАЧИ
В ТРУБАХ С ВНУТРЕННИМ СПИРАЛЬНЫМ ОРЕБРЕНИЕМ……..277
Суламанидзе А.Г.
ИЗУЧЕНИЕ СМЕШЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА
С ВОЗДУХОМ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГТД…….……..282
Халиулин Р.Р., Давыдов Н.В.
ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ ФОРСУНКИ В СИСТЕМАХ ПОЖАРОТУШЕНИЯ……285

Халиулин Р.Р., Семичев С.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОГО ГАЗОВОГО ЭЖЕКТОРА С ПОДВОДОМ ВОДЫ……290
Хафизов И.Р., Габдулхакова Э.Х.
РАЗРАБОТКА КРЫЛЬЧАТКИ ВОЗДУШНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ……..292
Хафизов И.Р., Салахов И.Р., Баичев А.Л.
РАЗРАБОТКА ВОЗДУШНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ ПРЕДПУСКОВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ……..296
Шакиров В.И.
ОПТИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИИ ОХЛАЖДЕНИЯ ГИДРОБЛОКА ГИДРОСИСТЕМЫ ЛЕГКОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО ВЕРТОЛЁТА…….299
Шакиров Р.А.
НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ТЕПЛООБМЕНА В ВИДЕ КОЛЬЦЕВЫХ ВЫСТУПОВ……...302
Юсеф В.М., Давыдов Н.В., Ли Цзывань
МАЛОЭМИССИОННАЯ КАМЕРА СГОРАНИЯ……..307
Яковлев М.М.
ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ НАСАДКА ГОРЕЛКИ НА ОБРАЗОВАНИЕ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ……...314

ПОДСЕКЦИЯ 3.2
РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ В РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Абдуллин М.Р., Давлатов Н.Б., Шигапов Р.Р.
АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ОДНО – И МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА УГЛЕВОДОРОДНЫХ И АЗОТОСОДЕРЖАЩИХ ГОРЮЧИХ И ОХЛАДИТЕЛЯХ……314
Бикмучев А. Р., Ковалеров К.П., Коновалов Р. Д.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ОКНА (ГДО) НА ОСНОВЕ ЗАКРУЧЕННОГО ПРОТИВОТОЧНОГО ТЕЧЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДИАМЕТРА МИНИМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СОПЛА И ДАВЛЕНИЯ НА ВХОДЕ……....320
Галеев А.В.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ С НАСОСНОЙ СП КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ АГРЕГАТОВ ЖРД…….325
Зиганшин Б.Р., Александров Ю.Б., Сочнев А.В.
ОБОСНОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ МИШЕНИ В ВОЗДУХЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЯГИ, СОЗДАВАЕМЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ОПТИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ……...……..330
Зиганшин Б.Р., Сочнев А.В., Кириченко Д.С.
МНОЖЕСТВЕННЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ РАЗРЯД ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТЕОРИИ ЛАЗЕРНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ И МНОГОТОЧЕЧНОМУ ПОДЖИГУ ……..…..334
Калмыкова А. С., Царева Е. В.
ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В КЛА С МАЛОЙ НАЧАЛЬНОЙ МАССОЙ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ ЭНЕРГИИ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ…….…….337
Кириллова А.Н., Хаматнурова Ч.Б.
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОТОКА НАД УТОПЛЕННОЙ ЧАСТЬЮ СОПЛА НА КОЭФФИЦИЕНТ РАСХОДА……...……343
Кириченко Д. С.
ИЗМЕРЕНИЕ ИМПУЛЬСА ПРИ ОПТИЧЕСКОМ ПРОБОЕ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ СОПЛЕ МЕТОДОМ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА…….……346

Ковалеров К. П., Маликов Р. Г.
РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ-107……...…….351
Семенов И.В., Гольц В.Г.
АНАЛИЗ И СПОСОБЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЗАПУСКА БЕСКЛАПАННОГО ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ……355
Станкус Д.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВОК РЕАКТИВНОЙ ТЯГИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ЭНЕРГИЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ…….358
Хаматнурова Ч.Б., Кириллова А.Н.
КОЭФФИЦИЕНТ МЕСТНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПРИ ВНЕЗАПНОМ РАСШИРЕНИИ ПРИ ТЕЧЕНИИ ПО ТРАКТУ КАНАЛА РДТТ…….364
Шайдуллин Р.А.
ЗАРЯД РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЗАКРУЧЕННЫМ КАНАЛОМ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ……366

СЕКЦИЯ 4
КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ И АППАРАТЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНА

Алсаид. М
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ…….372
Баженов Д.А., Богатыренков С.С.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРА В КАЧЕСТВЕ ДАТЧИКА УГЛА ПОВОРОТА НАВИГАЦИОННОГО СЕКСТАНА…….377
Бражникова А.М., Бражников А.М.
РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА КЛАССА МИКРО «ЖЕМЧУЖИНА» ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЙ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ……...382
Ненашкина П.А
ВЫБОР СХЕМЫ ДЛЯ ПРОГУЛОЧНОГО ЭКРАНОПЛАНА……...385
Смышляев О.Ф.
ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ ОПЕРЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЭКРАНОПЛАНА…….389
Тарновская В.А.
ВЫБОР ТИПА АППАРЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА РЕЧНОГО ПАРОМА……..392
Филиппова М.С.
ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ…….395
Хайдаров Д.Р., Хайруллин А.Р.
РАЗРАБОТКА БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ПОМОЩИ ПРИ ПИЛОТИРОВАНИИ ОДНОМЕСТНОГО ЭКРАНОПЛАНА…….398
Хайруллин А.Р., Хайдаров Д.Р.
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВОЧНОГО АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЭКРАНОПЛАНА НА СВЕРХМАЛЫХ ВЫСОТАХ……...401
Шарафутдинова Р.А.
НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИЛОВОЙ КОНСТРУКЦИИ БОРТА СУДНА……..404
Шмыров И.Б. Петров И.А.
ВОЗМОЖНОСТИ ИНЖЕНЕРНОГО МЕТОДА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ МОДЕРНИЗАЦИИ НЕОБИТАЕМОЙ ГЛУБОКОВОДНОЙ БУКСИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ «АБИСАЛЬ 3»……....408

Ялалтдинов А.А.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ КАТЕРА С ВОДОМЕТНЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ……...412
Яруллина Д.Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ПРОКЛАДКИ ПОДВОДНЫХ
ОПТИЧЕСКИХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ЛИНИЙ……...415

СЕКЦИЯ 5
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ
И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ПОДСЕКЦИЯ 5.1
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Абдрахимова Д.Р.
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МЕЛАНОЦИТАРНЫХ
НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖИ……421
Агаев Э.А.
СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЗАГРУЖЕННОСТИ САМОЛЕТА…….423
Арискин Е.О., Миллер К.Э., Хакимуллин С.И.
КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИОННО-МЕТОЧНОГО КАНАЛА СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕКТОРА ВЕТРА НА БОРТУ ОДНОВИНТОВОГО
ВЕРТОЛЕТА НА ОСНОВЕ ИОННО-МЕТОЧНЫХ И АЭРОМЕТРИЧЕСКИХ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ……..426
Арискин Е.О., Миллер К.Э., Хакимуллин С.И.
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕКТОРА ВЕТРА
НА БОРТУ ОДНОВИНТОВОГО ВЕРТОЛЕТА НА ОСНОВЕ ИОННО-МЕТОЧНЫХ И
АЭРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ…….432
Бражников А.М., Бражникова А.М.
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СВЯЗЬ ДЛЯ АВТОНОМНОГО
ПОДВОДНОГО АППАРАТА КЛАССА МИКРО……..…….436
Габдрахманова А.Р.
РАЗРАБОТКА КАНАЛА ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ……438
Габдрахманова А.Р.
РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПРИБОРА ДЛЯ
ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ ИНСУЛЬТА…….441
Гайнов С.И., Улюшкин А.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОМЕНТОВ ТРЕНИЯ В ОПОРАХ
ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ……..445
Гасанов Р.А.
ЦИФРОВОЙ ФОРМИРОВАТЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ……449
Гатауллин И.А.
ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДАТЧИКА АКСЕЛЕРОМЕТРА
УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УДАРА…….455
Гизамова А.Р., Тюрина М.М.
ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ СХЕМОТЕХНИКИ ЭЛЕКТРОГИСТЕРОГРАФИЧЕСКОГО
КАНАЛА…….459
Гилязова А.Ф
АМБУЛАТОРНОЕ УСТРОЙСТВО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПРИСТУПОВ АПНОЭ СНА….463

Денеев М.К.
ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИОННО-МЕТОЧНОГО ДАТЧИКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО УГЛА И ВОЗДУШНОЙ СКОРОСТИ……..468
Ефремова Е.С., Мифтахов Б.И.
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО УГЛА И ИСТИННОЙ ВОЗДУШНОЙ СКОРОСТИ ВИХРЕВОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ ДОЗВУКОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА……..471
Ефремова Е.С., Калинин К.В.
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛА СТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ВИХРЕВОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ ДОЗВУКОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА…….477
Железнов Р.С.
РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПОРТАТИВНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЯМЫХ И КОСВЕННЫХ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ОРГАНИЗМ……482
Закхеев А.Е., Мухамедияров Т.А.
ПОСТРОЕНИЕ И АЛГОРИТМЫ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ ВЕРТОЛЕТА С НЕПОДВИЖНЫМ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ АЭРОМЕТРИЧЕСКИМ ПРИЕМНИКОМ…….485
Ибрагимова Л.А.
СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИКИ КОЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛИЦА……..491
Калукова А.В.
УСТРОЙСТВО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЭПИЛЕПТИЧЕСКИХ ПРИПАДКОВ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ……...494
Мезин А.Е., Тюрина М.М.
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИНСУЛИНОТЕРАПИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОМПЫ…….. 497
Мингалимова Р.Р.
ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ УСТРОЙСТВА ОПТИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА ИК-ФУРЬЕ…….502
Миннуллина А.М.
ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ ДВУКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МОЧЕВЫДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ…….…….507
Муфаздалова А.Н., Тюрина М.М.
ПРИНЦИПЫ И СХЕМЫ КАНАЛА ТЕРМОГРАФИИ ВИДЕОЭНДОСКОПИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ГИСТЕРОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ……510
Мухамитов И.Р., Рахимбердиева С.Р.
ОБЗОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ И ГАЗА. ПРИМЕНЕНИЕТЕРМОАНЕМОРЕЗИСТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В РАСХОДОМЕРАХ……..514
Печников М.С.
ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЛАЖНОСТИ КОЖНОГО ПОКРОВА……520
Потапов К.А., Мушарапов Р.Н.
МОБИЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СНЕГОПЛАВИЛЬНАЯ УСТАНОВКА……..522
Резунов И.А.
ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИОННО-МЕТОЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ВОЗДУШНОЙ СКОРОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ……..526

Резунов И.А.
РЕГИСТРАТОР ИОННОЙ МЕТКИ С АЛГОРИТМОМ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ИНФОРМАТИВНОГО СИГНАЛА……..530
Степнова Е.И., Киселев С.К.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ПИЛОТОВ ВОЗДУШНОГО СУДНА……...533
Фазулзянова Г.Г.
ЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКИЙ КАНАЛ АУДИОМЕТРА В ОТОЛАРИНГОЛОГИИ ……537
Хорин А.В.
СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПОДВИЖНОСТИ АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В КРОВЕНОСНЫХ СОСУДАХ……541
Чекалов Г.П.
ИЗМЕРИТЕЛЬ РАСХОДА ВОЗДУХА……545
Шарафиев У.Г.
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ КОЖНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ НА ЗЛОКАЧЕСТВЕННОСТЬ……..548
Юнусов Н.А., Ворошнин Д.И.
ОПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ БИОТКАНИ…….....551

Благодарность Партнерам

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ выражает искреннюю благодарность за оказанную помощь в организации и проведении Международной молодежной научной конференции «XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых)». Благодарим Вас за стабильные партнерские отношения! Желаем Вам динамично развиваться, не теряя завоеванных позиций.

Надеемся на дальнейшее продолжение плодотворного сотрудничества.

Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Государственный институт прикладной оптики» (АО «НПО ГИПО»)

История одного из крупнейших научно-исследовательских институтов Казани - научно-производственного объединения «Государственный институт прикладной оптики» - берёт свое начало с 12 апреля 1957 года, с даты создания в г. Казани филиала Государственного оптического института им. С.И. Вавилова (ГОИ, г. Ленинград).

С самого начала самостоятельной деятельности ГИПО в нем оптимальным образом сочетались прикладные исследования и разработки с решением глубоких фундаментальных проблем, разработка новых технологий и технологических процессов с созданием специального технологического оборудования, разработка приборов для оснащения комплексов вооружения – с созданием сложных и уникальных приборных комплексов для народного хозяйства. Инфраструктура созданного института обеспечивала широкое практическое применение результатов исследований и разработок и выпуск изделий собственным опытным производством и на родственных предприятиях отрасли.

В активе ГИПО разработка сложной оптической компонентной базы, голография и голограммная техника, создание полупроводниковых материалов, голографические интерферометры для аэродинамических трасс, спектрография и спектрометрия, фоноцелевые исследования и исследования атмосферной оптики.

К 80-90-м годам прошлого столетия ресурсы предприятия были сосредоточены в первую очередь на выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию оптико-электронных приборов и систем в интересах обороноспособности страны.

С конца 90-х годов на опытном заводе НПО ГИПО освоено производство тепловизионных прицелов для противотанковых ракетных комплексов, в дальнейшем все разрабатываемые объединением тепловизионные приборы осваиваются серийно, а номенклатура разрабатываемых и выпускаемых серийно оптико-электронных систем постоянно расширяется.

Предприятие является головной организацией холдинга «Швабе» по тепловизионной технике и выполняет функции соответствующего центра компетенции в Госкорпорации «Ростех», а постоянное участие в выполнении Федеральных целевых программ позволяет сохранять производственные мощности на современном технологическом уровне.

Предприятие стало лидером в области разработки систем обнаружения и наведения для такого нового класса вооружений как лазерные станции обороны авиационных комплексов (вертолетов и самолетов военной, транспортной и литерной авиации). Сегодня более 20 современных и модернизированных комплексов высокоточного оружия оснащаются разработанными и серийно освоенными в ГИПО оптико-электронными приборами и системами. Значителен вклад предприятия в реализацию программ военно-технического сотрудничества России с другими государствами.

Осуществляя научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы и задания по производству серийной продукции, объединение остается и одним из ведущих в России

научных центров. Авторитет и компетенция АО «НПО ГИПО» в области разработок новых оптических технологий и в оптико-электронном приборостроении подтвержден выполнением целого ряда проектов в рамках международного сотрудничества.

В нынешнее тысячелетие Государственный институт прикладной оптики вошел с солидным научно-техническим заделом в различных направлениях оптического и оптико-электронного приборостроения. Этот задел, сформированный трудом сотрудников института на протяжении нескольких десятилетий, продолжает развиваться.

Коллектив института бережно хранит созданные ранее и развивает новые традиции жизни предприятия, создавая творческую атмосферу и стараясь, чтобы каждый сотрудник испытывал чувство причастности к работе большой команды, в которой общий успех зависит от каждого ее члена. Институт дорожит своими многолетними контактами с предприятиями и государственными ведомствами, выступающими заказчиками его продукции, высоко ценит ту помощь, которую ему оказывают государственные органы всех уровней.

Наиболее весомым итогом является то, что предприятие продолжает динамично развиваться, расширяя сферу своих интересов, создавая новые изделия, завоевывая новые рыночные ниши и обеспечивая все условия для эффективной и интересной работы будущих поколений своих сотрудников.

Отпечатано в изд-ве ИП Сагиева А.Р.
420073, г. Казань, ул. Ад. Кутуя, 116

Заказ № 398 от 17.10.19 г.
Формат 60х84 1/8. Усл. печ. л. 71.
Бумага офсет 80 г. Печать ризографическая.
Тираж 30 экз.

