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 III

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

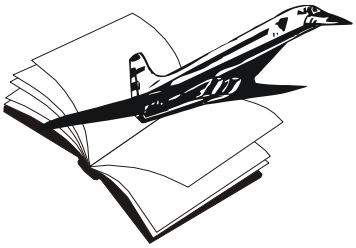
Казань 2019

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 III

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. 3. – Казань: изд-во ИП Сагиева А.Р., 2019. – 516 с.: ил.

ISBN 978-5-6043565-1-7
ISBN 978-5-6043565-4-8

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 978-5-6043565-4-8

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

СЕКЦИЯ 5

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ПОДСЕКЦИЯ 5.2

УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 621.63:681.5.04

АНАЛИЗ СХЕМ ТЕРМОРЕГУЛЯТОРОВ ВЕНТИЛЯТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Абдрашитов Р.Х., Максимова Т.А.
Научный руководитель: Н.Б. Куншина, ст. преподаватель
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г.Казань

В данной работе рассматриваются наиболее доступные пути модернизации схем управления воздушным охлаждением, проводится сравнительный анализ датчиков температуры, выбирается оптимальная схема исходя из критериев надежности и стоимости схемы управления воздушным охлаждением.

Воздушное охлаждение чаще всего применяется для охлаждения сверхъярких светодиодов, процессоров, частотных преобразователей, источников бесперебойного питания, оборудования, в котором требуется подача и циркуляция воздуха. Основная часть воздушного охлаждения в таких системах чаще всего является вентиляторами постоянного тока, поэтому разработка недорогих схем управления ими является актуальной задачей.

Вентиляторы DC работают при напряжении питания от 3В до 60В и отлично функционируют в разных температурных режимах – минимальные и максимальные температурные показатели работы от -30°C до 90°C.

Проблема заключается в том, что не все охлаждающие системы имеют функцию терморегуляции.

Анализ существующих схем управления позволил нам выбрать три основные схемы управления воздушным охлаждением: на основе терморезистора и p-n переходов.

Для начала рассмотрим вариант моделирования схемы на терморезисторе [1], где в качестве терморезистора выступает R2, см. рис. 1.

Стоимость всех компонентов этой схемы составляет примерно 205 руб [2].

При сопротивлении резистора R2 больше 65% транзистор открывается, при сопротивлении резистора R2 64% и меньше транзистор закрывается.

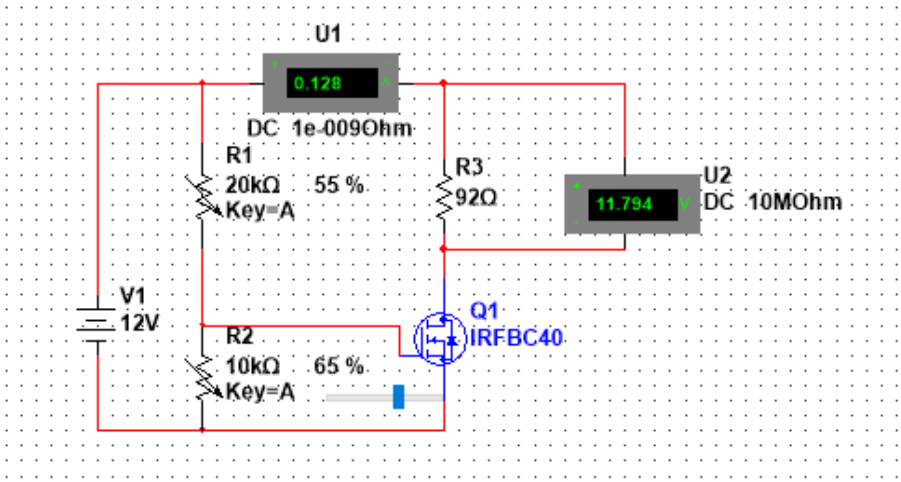


Рис 1. Моделирование датчика температуры на терморезисторе в Multisim

Далее рассмотрим вариант моделирования схемы с датчиком температуры на транзисторе [3], где в качестве транзистора выступает Q1, см. рис. 2.

Стоимость всех компонентов этой схемы составляет примерно 195 руб [2].

Рабочая точка транзистора Q1 при его температуре 26°C составляет 70% от номинала сопротивления резистора R3. При температуре транзистора Q1 26°C и выше транзистор Q2 открывается. При температуре транзистора Q1 25°C и ниже транзистор Q2 закрывается.

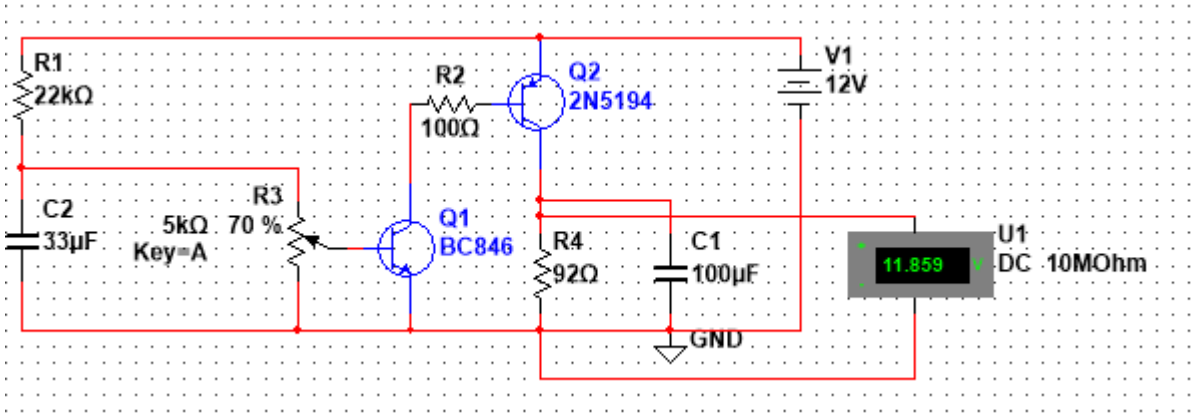


Рис 2. Моделирование датчика температуры на транзисторе в Multisim

В качестве третьего варианта рассмотрим схему, основанную на компараторе [4], где в качестве компаратора выступает U3, см. рис. 3.

Стоимость всех компонентов этой схемы составляет примерно 240 руб [2].

При сопротивлении резистора R10 больше 26% транзистор открывается, при сопротивлении резистора R10 25% и меньше транзистор закрывается.

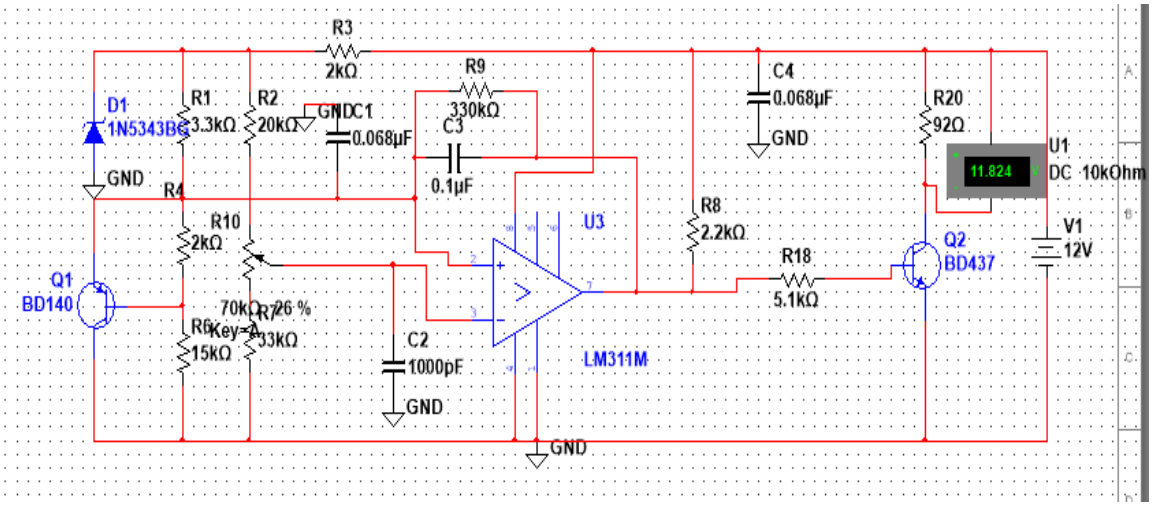


Рис 3. Моделирование датчика температуры на транзисторе в Multisim

Для макетирования выберем схему на рис. 2. Чтобы определить, линейно ли изменяется зависимость напряжения от температуры, мы провели замеры напряжения на выходе при определенных температурах датчика (Q1 – транзистор BC846).

Замеры температуры производили при помощи термопары, а замеры напряжения при помощи мультиметра в режиме работы вольтметра.

Таблица результатов и график приведены ниже, см. рис. 4.

t, °C	15	26	30	40	50	60	70	80	90	100
$U_{вых}$, В	2,5	2,96	3,2	5,3	6,9	8,15	8,9	10,2	11	12

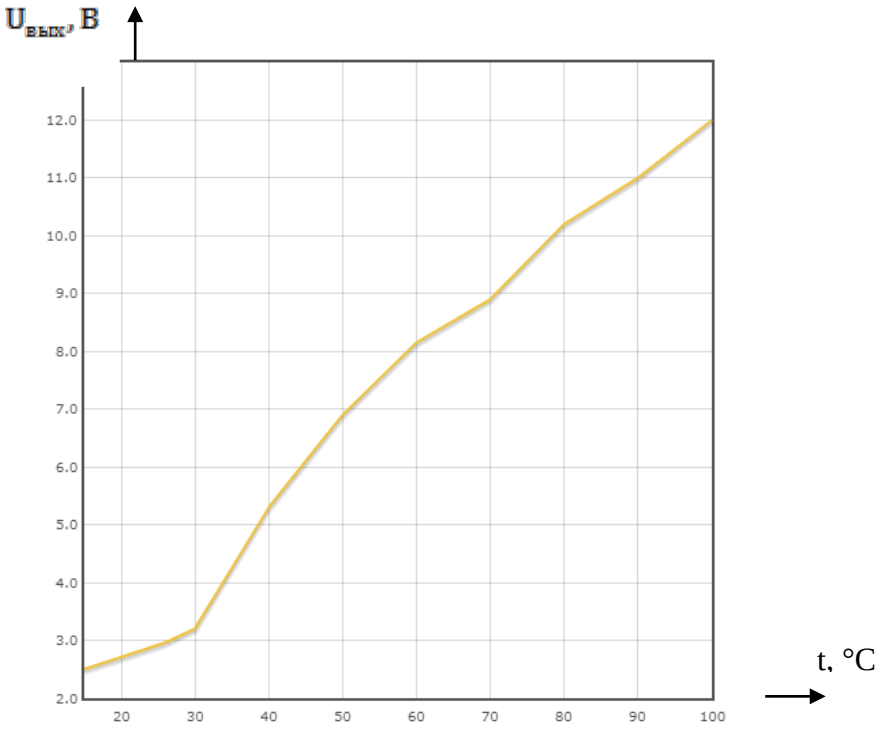


Рис 4. График зависимости напряжения от температуры

Лучшим из рассмотренных датчиков температуры исходя из сложности схемы терморегулятора и исходя из стоимости устройства является BC846, так как его зависимость напряжения от температуры почти линейна, см. рис. 4. Отмакетировали схему на рис. 2 на основе BC846 и изучили график зависимости напряжения от температуры окружающей среды. Схема, выбранная нами для сборки, подходит под напряжение 12 В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Романов, А.Д. Схема терморегулятора на терморезисторе. [Электронный ресурс] / Сайт www.elquanta.ru, 2017. – Электронные данные. – Режим доступа: https://elquanta.ru/sovety/termoregulyator-svoimi-rukami.html#i-3, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

2. Сушенцов, Н.П. Стоимость компонентов схем. [Электронный ресурс] / Сайт www.chipdip.ru, 2019. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.chipdip.ru/catalog, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

3. Сергеев, А. Регулятор оборотов вентилятора с датчиком температуры. [Электронный ресурс] / Сайт www.ucoz.ru. – Электронные данные. – Режим доступа: http://softros.narod.ru/cooler_volume.html, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

4. Анкудинов, А. Схема терморегулятора на транзисторе. [Электронный ресурс] / Сайт www.ua3vvm.qrz.ru, 2018. – Электронные данные. – Режим доступа: http://www.ua3vvm.qrz.ru/projects/termo/termo.htm, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

ANALYSIS OF CIRCUIT TECHNICAL CAPABILITIES OF THERMAL REGULATORS IN DC FANS

Abdrashitov R.Kh., Maksimova T.A.

Supervisor: N.B. Kunshina, Senior Lecturer

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

This paper discusses the most accessible paths for upgrading air-cooled control circuits, compares temperature sensors, selects the optimal circuit based on the reliability and cost criteria of an air-cooled control circuit.

УДК 681.5.013

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ РЕГУЛЯТОР ОСНОВАННЫЙ НА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОМ НАБЛЮДАТЕЛЕ ДЛЯ МНОГОАГЕНТНЫХ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ СИСТЕМ

Акбиров Р.Р.
akbramil@yandex.ru
Научный руководитель: А.И. Маликов, д.ф.-м.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Эта работа представляет способ синтеза децентрализованного управления по состоянию децентрализованного наблюдателя для взаимосвязанных многоагентных систем. Предложенная управляющая структура разработана для того, чтобы гарантировать ограниченность на конечном интервале асимптотическую устойчивость глобальной системы и гарантировать отслеживание эталонной модели путем минимизации влияния внешних возмущений.

Введение

Крупномасштабные системы часто моделируются уравнениями динамики, состоящими из соединения подсистем более низкой размерности. Эти системы широко распределены в пространстве, так что передача информации между подсистемами может быть очень трудной. Поэтому схемы децентрализованного управления оказываются наиболее эффективными для стабилизации взаимосвязанных систем крупного масштаба, так как они не требуют передачи данных между подсистемами [4].

Возможность управлять взаимосвязанной системой путем децентрализованной обратной связи по состоянию кардинально зависит от доступности измерения состояний в каждой подсистеме. В большинстве практических случаев полные измерения состояния не доступны в каждой отдельной подсистеме. Следовательно, для восстановления неизмеримых состояний подсистем могут потребоваться методы наблюдения состояния [2,3].

Однако задача децентрализованного управления с обратной связью по состоянию на основе наблюдателя для взаимосвязанных систем не очевидна, так как в этой ситуации не может быть применен принцип разделения. Таким образом необходимо одновременно рассмотреть задачу синтеза управления и синтеза наблюдателя для обеспечения стабилизации глобальной системы.

В этой работе была рассмотрена задача децентрализованного управления с обратной связью по состоянию децентрализованного наблюдателя, чтобы не только получить ограниченность на конечном интервале, но и гарантировать выполнение некоторых предписанных ограничений для взаимосвязанной системы. Таким образом, основной вклад этой работы - создание децентрализованного управления по эталонной модели для обеспечения ограниченность на конечном интервале глобальной системы, и позволяющего минимизировать влияние внешних возмущений. Определение коэффициентов усиления управления и наблюдателя производится с помощью решения задачи оптимизации, которая формулируется в терминах линейных матричных неравенств (ЛМН).

1. Постановка задачи

Цель состоит в том, чтобы разработать способ децентрализованного управления по эталонной модели для крупномасштабных взаимосвязанных систем, который стабилизирует состояния всей системы, основанный на полностью децентрализованном наблюдателе.

Класс широкомасштабных взаимосвязанных систем, рассмотренных в этой работе, может быть охарактеризован объединением N подсистем следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{x}_i(t) = A_i x_i(t) + B_i u_i(t) + \Phi_i(t)\varphi_i(t,x) + \sum_{j=1, j\neq i}^{N} H_{ij} x_j(t) + w_i(t) \\ y_i(t) = C_i x_i(t) + \upsilon_i(t) \qquad ; \qquad i = 1,.....,N \end{cases}$$

где: $x_i(t) \in R^{n_i}$ является вектором *i*-го состояния; $u_i(t) \in R^{m_i}$ является вектором *i*-ой подсистемы; $y_i(t) \in R^{p_i}$ является выходным вектором *i*-ой подсистемы; $w_i(t)$ является внешним возмущением *i*-ой подсистемы; $\upsilon_i(t)$ является ошибкой измерения *i*-ой подсистемы. $A_i \in R^{n_i \times n_i}, B_i \in R^{n_i \times m_i}, C_i \in R^{p_i \times n_i}, \Phi_i(t) \in R^{n_i \times q_i}$ соответственно являются матрицей состояний, входной матрицей и выходной матрицей каждой подсистемы, (A_i, B_i) - управляема, (A_i, C_i) - наблюдаема, $H_{ij} \in R^{n_i \times n_i}$ - постоянная матрица, представляющая линейную связь между двумя подсистемами *i* и *j*.

Глобальная система тогда может быть смоделирована следующим уравнением пространства состояния:

$$\begin{cases} \dot{x}_i(t) = Ax(t) + Bu(t) + \Phi\varphi(t,x) + Hx(t) + w(t), \\ y(t) = Cx(t) + \upsilon(t), \end{cases} \tag{1}$$

где: • $x^T(t) = x^T = \left[x_1^T, x_2^T, ..., x_N^T\right]$ – вектор состояния глобальной системы;

• $u^T(t) = u^T = \left[u_1^T, u_2^T, ..., u_N^T\right]$ – вектор управления глобальной системы;

• $y^T(t) = y^T = \left[y_1^T, y_2^T, ..., y_N^T\right]$ – выходной вектор глобальной системы;

• $w^T(t) = w^T = \left[w_1^T, w_2^T, ..., w_N^T\right]$ – вектор возмущений глобальной системы;

• $v^T(t) = v^T = \left[v_1^T, v_2^T, ..., v_N^T\right]$ –вектор погрешностей измерений глобальной системы;

• $A = diag(A_i)$, $B = diag(B_i)$, $C_i(t) \in R^{l_i \times n_i}$, $\Phi = diag(\Phi_i)$ и H являются соединительной матрицей, удовлетворяющей условию $H = \lfloor H_{ij} \rfloor$ с $H_{ii} = 0$.

Пара (*A, B*) управляема, а пара (*A, C*) наблюдаема. Это свойство является прямым результатом каждой управляемой и наблюдаемой подсистемы.

Представим эталонную модель для *i*-ой подсистемы следующим образом:

$$\dot{x}_{ri}(t) = A_{ri} x_{ri}(t) + r_i(t)$$

где: • $x_{ri}(t) \in R^{n_i}$ - вектор состояния *i*-ой эталонной подсистемы. Предполагается, что $x_{ri}(t)$ представляет желаемую траекторию для $x_i(t)$ для всех *t>0.*

• $A_{ri}(t) \in R^{n_i \times n_i}$ - определенная асимптотически устойчивая матрица,

• $r_i(t) \in R^{n_i}$ ограниченный задающий вход.

Эталонная модель для глобальной системы представлена следующим уравнением:

$$\dot{x}_r(t) \in A_r x_r(t) + r(t) \tag{2}$$

где: • $x_r^T(t) = x_r^T = \left[x_{r1}^T, x_{r2}^T, ..., x_{rN}^T\right]$;

• $r^T(t) = r^T = \left[r_1^T, r_2^T, ..., r_N^T\right]$ обозначают ограниченный ссылочный вход глобальной системы;

• $A_r = diag(A_{ri})$.

Нелинейная вектор функция $\varphi(t,x) \in R^q$, $\varphi(t,0) = 0$ удовлетворяет ограничению (условию Липшица):

$$\left\|\varphi(t,x') - \varphi(t,x'')\right\|^2 \le \mu \left\|C_f(t)(x'(t) - x''(t))\right\|^2, \ \forall t \in [t_0, T], x', x'' \in R^n, \tag{3}$$

где $C_f(t) \in R^{q \times n}$ - известная матрица с непрерывными и ограниченными элементами при $t \in [t_0, T]$, μ известная константа (константа Липшица).

Локальным законом управления для каждой подсистемы принимается:

$$u_i = K_i\left[x_{ri}(t) - \hat{x}_i(t)\right]$$

где: K_i – коэффициент усиления управления *i*-ой подсистемы; $\hat{x}_i = \hat{x}_i(t)$ является наблюдаемым вектором состояния, описанным следующими уравнениями:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}_i(t) = A_i\hat{x}_i(t) + B_i u_i(t) + L_i\left[y_i(t) - \hat{y}_i(t)\right] \\ \hat{y}_i(t) = C_i\hat{x}_i(t) \qquad ; \qquad i = 1,....., N \end{cases}$$

с L_i матрица коэффициентов усиления наблюдения для *i*-ой подсистемы.

Ошибка наблюдения, $e_i(t) = e_i$, между реальным состоянием и наблюдаемым вычисляется как:

$$e_i = x_i - \hat{x}_i.$$

Производная от ошибки оценивания определяется следующим уравнением:

$$\dot{e}_i = \left[A_i - L_i C_i\right]e_i - L_i\upsilon_i + \sum_{j=1,\, j\neq i}^{N} H_{ij}x_j + w_i .$$

Наблюдатель глобальной системы может быть представлен в следующем виде:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + L\left[y - \hat{y}\right] \\ \hat{y} = C\hat{x} \end{cases} \tag{4}$$

с оценкой состояния $\hat{x}^T(t) = \hat{x}^T = \left[\hat{x}_1^T, \hat{x}_2^T, ..., \hat{x}_N^T\right]$ и матрицей наблюдения $L = diag\left(L_i\right)$.

Схема оценки состояния глобальной взаимосвязанной системы, состоящая из N локальных наблюдателей, полностью децентрализована, поскольку каждый локальный наблюдатель использует только вход и выход рассматриваемой подсистемы. Подход, предложенный в [5], предлагает синтез H_∞ децентрализованного управления системой отслеживания траектории нечеткой модели с использованием взаимосвязанных наблюдателей, поскольку взаимосвязи $\left(H_{ij}x_j(t)\right)$ были сохранены в структуре наблюдателя. В [4] предложен способ синтеза децентрализованного H_∞ управления по состоянию децентрализованного наблюдателя. При этом синтез децентрализованного наблюдателя проводился из условия асимптотической устойчивости ошибки оценивания. В данной работе предлагается способ синтеза децентрализованного управления, обеспечивающего ограниченность отклонений траекторий взаимосвязанной системы от эталонной модели и синтез децентрализованного наблюдателя со свойством ограниченности ошибки оценивания координат состояния исходной систем. Так же как в [4] задача заключается в том, чтобы исключить избежать взаимосвязи при синтезе наблюдателя и синтезировать структуру управления на основе полностью децентрализованного наблюдателя.

Чтобы разработать закон отслеживания для глобальной системы (1), рассматривается следующее блочно-диагональное управление:

$$u = K\left[x_r - \hat{x}\right] \tag{5}$$

где $K = diag\left(K_i\right)$ является матрицей усиления.

Ошибка наблюдения для глобальной системы, $e = x - \hat{x}$, может быть получена, из (1) и (4), в следующем виде:

$$\dot{e} = \left[A - LC\right]e - L\upsilon + Hx + w \tag{6}$$

Подставляя закон управления (5) в глобальную систему (1), N взаимосвязанных подсистем могут быть представлены следующим уравнением пространства состояния:

$$\begin{cases} \dot{x} = (A + H - BK)x + BKx_r + BKe + w \\ y = Cx + \upsilon \end{cases} \quad (7)$$

Поэтому расширенная система, включающая в себя общую систему (7), глобальную эталонную модель (2) и глобальную систему ошибок наблюдения (6), представлена в следующем виде:

$$\dot{\tilde{x}} = \tilde{A}\tilde{x} + \tilde{\Phi}\tilde{\varphi} + \tilde{B}\tilde{w} \quad (8)$$

где:

$$\tilde{x} = \begin{bmatrix} x \\ x_r \\ e \end{bmatrix}, \quad \tilde{A} = \begin{bmatrix} A+H-BK & BK & BK \\ 0 & A_r & 0 \\ H & 0 & A-LC \end{bmatrix}, \quad \tilde{B} = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 \\ I & 0 & -L \end{bmatrix}, \quad \tilde{w} = \begin{bmatrix} w \\ r \\ \upsilon \end{bmatrix}, \quad \tilde{\varphi} = \begin{bmatrix} \varphi(t,x) \\ \varphi(t,x) - \varphi(t,\hat{x}) \end{bmatrix},$$

Допустим, что в системе (1) неопределенные возмущения являются непрерывными функциями времени, ограниченными по L_2 норме (возмущения конечной энергии):

$$W = \{w : \int_0^T \|w(t)\|^2 dt \le d \le \int_0^\infty \|w(t)\|^2 dt < \infty\},$$

где d - константа, которая считается известной.

Пусть заданы в виде эллипсоидов $E(R_0) = \{x \in R^n : x^{\mathrm{T}} R_0^{-1} x \le 1\}$, $E(R(t)) = \{x \in R^n : x^{\mathrm{T}} R^{-1}(t) x \le 1\}$, ($R_0 = diag(R_{0i}), R(t) = diag(R_i(t))$ – известные симметрические положительно-определенные матрицы) соответственно множества начальных состояний, допустимых состояний в моменты времени $t \in [t_0, T]$, а также множество W допустимых внешних возмущений.

Определение 1 [11]. Будем говорить, что система (8) обладает на $[t_0, T]$ свойством ограниченности относительно заданных множеств $\{E(R_0), E(R(t))\}$ если для всех $x_0 \in E(R_0)$ существуют на $[t_0, T]$ решения $x(t) = x(t, t_0, x_0)$ системы (8) с начальными данными $x(t_0) = x_0$, для которых имеет место $x(t, t_0, x_0) \in E(R(t))$ при всех $t \in [t_0, T],\ w(t) \in W$ и всех нелинейностях из (3).

Здесь эллипсоид $E(R(t))$ определяет требования к качеству управления исходной системы.

Задача состоит в том, чтобы найти способ получить матрицу коэффициентов усиления $K = diag(K_i)$ управления и матрицу коэффициентов усиления наблюдения $L = diag(L_i)$, которые обеспечат ограниченность отклонений траекторий взаимосвязанной системы от эталонной модели и ограниченности ошибки оценивания координат состояния.

2. Синтез децентрализованного управления и наблюдателя, обеспечивающих на конечном интервале ограниченность относительно заданных множеств

Для синтеза децентрализованного управления по состоянию децентрализованного наблюдателя, обеспечивающих свойство ограниченности на конечном интервале используется следующая теорема из [6].

Теорема 1. Для того чтобы на заданном интервале $[t_0, T]$ система (8) обладала ограниченностью относительно заданных множеств $\{E(R_0), E(R(t))\}$, а децентрализованный наблюдатель (4) обеспечивал ограниченность ошибки оценивания относительно заданных

множеств $\{E(R_0), E(S(t))\}$ достаточно, чтобы при некоторых $\alpha = diag(\alpha_1 I, \alpha_2 I, \alpha_3 I) > 0, \beta = diag(\beta_1 I, \beta_2 I, \beta_3 I) > 0$ существовали при всех $t \in [t_0, T]$ симметрическая матрица $P(t) = diag(P_1(t), P_2(t), P_3(t)))$ и матрица $L(t) = diag(L_i(t))$ такие, что выполняются следующие неравенства:

$$\begin{bmatrix} dP/dt + \tilde{A}^T P + P\tilde{A} + \tilde{\alpha}P + \tilde{\beta}\tilde{\mu}\tilde{C}_f^T\tilde{C}_f & P\tilde{\Phi} & P\tilde{D} \\ \tilde{\Phi}^T P & -\tilde{\beta}I & 0 \\ \tilde{D}^T P & 0 & -\tilde{d}^{-1}I \end{bmatrix} < 0$$

$$P(t) \geq diag(R^{-1}(t), S^{-1}(t)), \quad P(t_0) \leq \tilde{d}^{-1} diag(R_0^{-1}, R_0^{-1}).$$

Здесь используется обозначение $\tilde{d} = diag((1+d)I, (1+d)I)$, I – $n \times n$-единичная матрица, и предполагается, что матрицы $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ имеют блочно-диагональное представление $P_1(t) = diag(P_{1i}(t))$, $P_2(t) = diag(P_{2i}(t))$, $P_3(t) = diag(P_{3i}(t))$.

3. Применение предлагаемого подхода к управлению многомашинной энергосистемой

3.1. Нелинейная модель многомашинной энергосистемы

N–машинная энергосистема с паровым регулирующим клапаном может быть описана соединением *N* подсистем. Нелинейная математическая модель каждой подсистемы может быть описана следующими уравнениями [4]:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A_i x_i(t) + B_i u_i(t) + h_i(t, x(t)) \\ y_i(t) = C_i x_i(t); \qquad i = 1, \ldots, N \end{cases} \tag{9}$$

$$h_i(t, x(t)) = \sum_{j=1, j \neq i}^{N} p_{ij} G_{ij} g_{ij}(x_i(t), x_j(t))$$

где:

- нелинейная функция, характеризующая связь между i-ой и j-ой машиной, а $x_i(t)$ - вектор состояния, определяемый как:

$$x_i(t)^T = \begin{bmatrix} \Delta\delta_i(t) & \omega_i(t) & \Delta P_{mi}(t) & \Delta X_{ei}(t) \end{bmatrix}$$

где: $\Delta\delta_i(t) = \delta_i(t) - \delta_{i0}$; $\Delta P_{mi}(t) = P_{mi}(t) - P_{mi0}$; $\Delta X_{ei}(t) = X_{ei}(t) - X_{ei0}$; $u_i(t)$ - управляющий вектор, $u_i(t) = P_{ci} - P_{mi0}$; $y_i(t)$ - выходной вектор, $y_i(t) = \Delta\delta_i(t)$, .

$$A_i = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{D_i}{2H_i} & \frac{\omega_0}{2H_i} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_{mi}} & \frac{K_{mi}}{T_{mi}} \\ 0 & -\frac{K_{ei}}{T_{ei} R_i \omega_0} & 0 & -\frac{1}{T_{ei}} \end{bmatrix}, \quad B_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{T_{ei}} \end{bmatrix}, \quad C_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$G_{ij}^T = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{\omega_0 E'_{qi} E'_{qj} B_{ij}}{2H_i} & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$g_{ij}(x_i(t), x_j(t)) = \sin\left(\delta_i(t) - \delta_j(t)\right) - \sin\left(\delta_{i0} - \delta_{j0}\right).$$

где: $\delta_i(t)$ - угол ротора *i*-ой машины, $\omega_i(t)$ - относительная скорость *i*-й машины, $P_{mi}(t)$ - механическая мощность *i*-й машины, $P_{ci}(t)$ - вход управления мощностью для *i*-й машины, $X_{ei}(t)$ - паровой клапан, открывающийся для *i*-й машины, H_i – константа инерции для *i*-й машины, в

секундах, D_i - коэффициент демпфирования для *i*-й машины, в о.е., T_{mi} - постоянная времени для турбины *i*-ой машины, в секундах, K_{mi} – коэффициент усиления для турбины *i*-ой машины, T_{ei} – постоянная времени регулятора скорости для i-ой машины, в секундах, K_{ei} – коэффициент усиления для регулятора скорости *i*-й машины, R_i – константа регулирования для *i*-й машины, в о.е., B_{ij} - узловая реактивная проводимость между *i*-й и *j*-й машиной, ω_0 – угловая скорость синхронной машины, в рад/с, E'_{qi} - внутреннее переходное напряжение для *i*-й машины, в о.е, считается постоянной, E'_{qj} - внутреннее переходное напряжение для *j*-ой машины, в о.е, считается постоянной, p_{ij} – константа, имеет значения 1 или 0 ($p_{ij} = 0$, когда *i*-я машина не имеет связи с *j*-й машиной), δ_{i0}, P_{mi0} и X_{ei0} - номинальные значения для $\delta_i(t)$, $P_{mi}(t)$ и $X_{ei}(t)$

3.2. Линеаризованная модель многомашинной энергосистемы

Для небольших вариаций угла δ_i *i*-й машины вблизи состояния равновесия δ_{i0} член $h_i(t, x(t))$ в (9) может быть представлен следующей линейной формой:

$$h_i(t, x(t)) = \sum_{j=1, j\neq i}^{N} p_{ij} G_{ij} (\Delta\delta_i(t) - \Delta\delta_j(t))$$

Затем линеаризованная модель каждой подсистемы может быть представлена следующей системой:

$$\begin{cases} \dot{x}_i(t) = A_i x_i(t) + B_i u_i(t) + \sum_{j=1, j\neq i}^{N} H_{ij} x_j(t) + w_i \\ y_i(t) = C_i x_i(t) + \upsilon_i; \qquad i = 1,..., N \end{cases}$$

N-машинная энергосистема может быть смоделирована так, как показано в уравнении (1), следующим уравнением в пространстве состояний:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + Hx + w \\ y = Cx + \upsilon \end{cases}$$

3.3. Компьютерное моделирование

Для изучения доступности и эффективности предлагаемого подхода к управлению рассмотрим трехмашинную взаимосвязанную энергосистему, характеризуемую параметрами, представленными в следующей таблице 1:

Таблица 1.

Параметры трехмашинной взаимосвязанной энергосистемы

	Машина 1	Машина 2	Машина 3
T'_{d0} (о.е.)	6.9	7.96	7.96
H (сек.)	4	5.1	5.1
D (о.е.)	5	3	3
T_m (сек.)	0,35	0,35	0,35
T_e (сек.)	0,1	0,1	0,1
R	0,05	0,05	0,05
K_m	1	1	1
K_e	1	1	1
ω_0 (рад/сек.)	314,159	314,159	314,159

Матрицы состояний эталонных моделей задаются в следующей форме:

$$A_{ri} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -100 & -101 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -50 & -2 \\ 0 & -2 & 0 & -10 \end{bmatrix}, \quad i=1,2,3.$$

На основе теоремы 1 задачи синтеза децентрализованного управления, обеспечивающего ограниченность отклонений траекторий взаимосвязанной системы от эталонной модели и синтеза децентрализованного наблюдателя со свойством ограниченности ошибки оценивания координат состояния сводится к задаче оптимизации с ограничениями в виде ЛМН. Эта задача решается в 2 этапа. Сначала находится матрица K децентрализованного управления путем оптимизации с ограничениями в виде сокращенных ЛМН (без учета наблюдателя), а затем уже при известной матрицы K в результате решения задачи оптимизации с ЛМН (8), (9) вычисляется матрица коэффициентов усиления децентрализованного наблюдателя.

Далее в результате компьютерного моделирования нелинейной модели трехмашинной энергосистемы было показано, что полученное децентрализованное управление по состоянию децентрализованного наблюдателя обеспечивает модельное поведение при действии возмущений.

Заключение

В этой статье был предложен способ синтеза децентрализованного управления по эталонной модели и децентрализованного наблюдателя для обеспечения стабилизации крупномасштабных взаимосвязанных систем. При этом гарантируется ограниченность отклонений траекторий от модельного поведения несмотря на наличие внешних возмущений и связей между подсистемами, а децентрализованный наблюдатель позволяет восстановить не измеряемые переменные состояния каждой подсистемы. Предлагаемый подход к управлению приводит к задаче оптимизации, которая была сформулирована в терминах ЛМН ограничений, решение которых дает коэффициенты усиления регулятора и наблюдателя при минимизации ошибок отслеживания эталонной траектории.

Исходя из результатов моделирования можно сделать вывод о том, что предлагаемая схема децентрализованного управления по эталонной модели, основанная на децентрализованном наблюдателе, эффективна и позволяет быстро стабилизировать глобальную систему, восстановить не измеряемые переменные состояния и гарантировать желаемые характеристики несмотря на действие внешних неконтролируемых возмущений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-08-01045).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Маликов А.И.* Синтез наблюдателей состояния для нелинейных Липшицевых систем с неопределенными ограниченными по L_∞ норме возмущениями // Вестник КГТУ им.А.Н.Туполева. 2016. №3. С. 128–140.

2. Маликов А.И. Синтез наблюдателей состояния по результатам измерений для нелинейных Липшицевых систем с неопределенными возмущениями // Автомат.и телемех., 2017. № 4. С.16–35.

3. Маликов А.И. Синтез наблюдателей состояния и неизвестных входов для нелинейных Липшицевых систем с неопределенными возмущениями // Автомат. и телемех. 2018. № 3. С. 21-43.

4. *K. Jung, K. Y. Kim, T. W. Yoon and G. Jang*. Decentralized control for multi-machine power systems with nonlinear interconnections and disturbances. In proceedings ICCAS'02 Conference, Korea 16 19, 2002.
5. *Tseng S., Chen B-S. H_∞* Decentralized fuzzy model reference tracking control design for nonlinear interconnected systems // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2001. V. 9. P. 795-809.
6. *Маликов А.И.* Синтез децентрализованного управления по состоянию наблюдателя для нелинейных многосвязных систем с неопределенными возмущениями // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. 2018. №4. С.242-254.

DECENTRALIZED H-∞-REGULATOR BASED ON DECENTRALIZED OBSERVER FOR MULTI-AGENT RELATED SYSTEMS

Akbirov Ramil
akbramil@yandex.ru
Supervisor: Alexander Malikov, Doctor of Physico-Mathematical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

This work is a method of decentralized control of the state of a decentralized observer for interconnected multi-agent systems. It is stipulated that there is a limited interval of asymptotic stability of the global system and tracking of the reference model by minimizing the influence of external disturbances.

УДК 629.735.33

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БПЛА

Алексеев Н. Н.
1nike93@mail.ru
Научный руководитель: Терентьев С.А., доцент, к.т.н.
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань

Аннотация. В статье предложен управляющий блок являющейся аппаратной реализацией системы управления и являющейся весьма универсальным для применения в БПЛА, в которых использованы стандартные ШИМ сигналы (с периодом 20 мс) для приводов и приемников.

Введение

Характерной чертой современного этапа развития авиационной техники является тенденция увеличения, как объёма, так и сфер применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) самолетного и вертолетного типов как элементов беспилотных авиационных комплексов (БАК).

Причины этого закрадываются, с одной стороны в новых возможностях современного этапа научно-технического развития в области микроэлектроники, средств автоматизации систем связи и управления, что повлекло за собой появление приемлемых по стоимости, энергопотреблению, весовым и габаритным характеристикам образцов вычислительной, телекоммуникационной, радио и оптоэлектронной техники. С другой стороны, потенциальным потребителям становятся все более очевидными преимущества и новые возможности применения БАК. [1]

Цель исследования заключается в том, чтобы разработать более эффективную схему системы управления БЛА.

1. Состав бортового оборудования БПЛА

Для обеспечения задач управления, сбора данных и наблюдения за подстилающей поверхностью земли в реальном масштабе времени в процессе полета и цифрового фотографирования выбранных участков местности, включая труднодоступные участки, а также определения координат исследуемых участков местности полезная нагрузка БПЛА должна содержать в своем составе:

- ✓ Спутниковую навигационную систему GPS;

- ✓ Устройства командно-навигационной радиолинии с антенно-фидерным устройством;
- ✓ Устройство обмена командной информацией;
- ✓ Бортовая цифровая вычислительная машина;
- ✓ Датчики воздушной скорости, высоты вместе с трубкой пито;
- ✓ Гироскоп;
- ✓ Систему телеметрии, для передачи видеосигнала, и полетных данных на пульт управления в режиме реального времени;
- ✓ Приводы рулей высоты;
- ✓ Тяговый электродвигатель, с регулятором оборотов;
- ✓ Блок питания с аккумуляторной батареей. [2]

2. Условия эксплуатации системы управления

Окружающая среда:

- температура, град °C - от минус 40 °C до плюс 70 °C;
- вибрация/удар, g – 2g;
- влажность: от 0% до 100% ;

Выбираемые электронные компоненты и оборудование для разрабатываемой системы должны быть работоспособны в указанных условиях.

3. Структурная схема блока управления

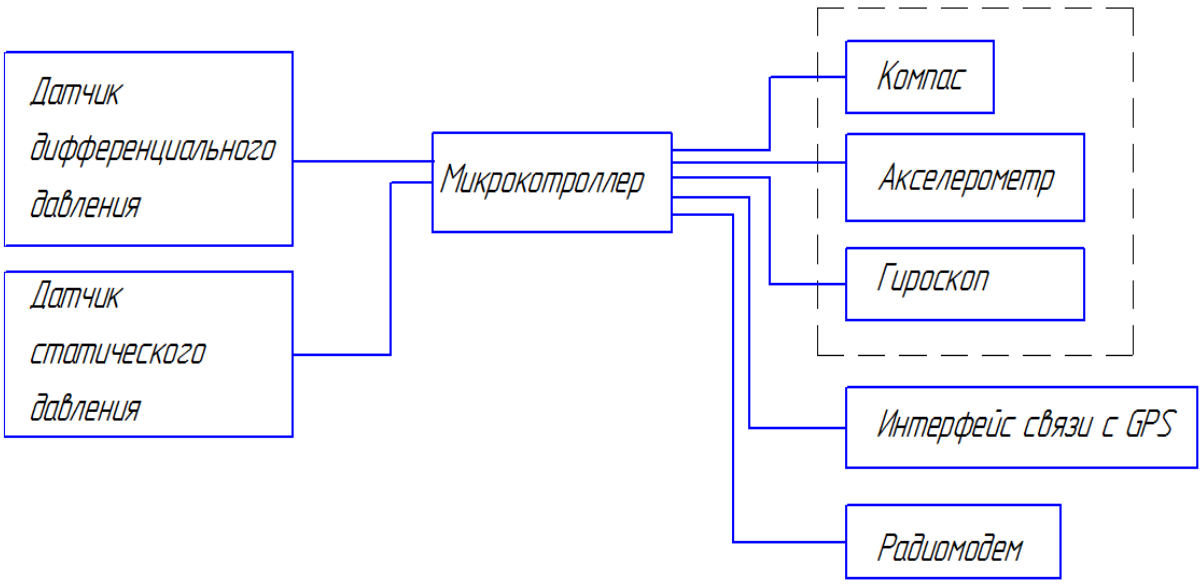


Рис.1 Структурная схема блока управления БПЛА

Одну из главных ролей в схеме блока управления играет микроконтроллер. Он выполняет обработку всей информации, поступающей с других функциональных узлов, математические расчеты, а также связывает все остальные элементы схемы. Спутниковая навигационная система, представленная GPS приемником, подает на микроконтроллер географические координаты объекта, высоту над уровнем моря, скорость и время по Гринвичу. Данные выводятся с порта GPS приемника и поступают на порт микроконтроллера. В свою очередь, микроконтроллер отправляет с порта запросы на порт GPS приемника. С выходов трехосевого акселерометра, датчика угловых скоростей (ДУС) и радиоприёмника в

микроконтроллер поступают соответственно проекции ускорений, угловые скорости аппарата и информация цифровых данных. В свою очередь, микроконтроллер отправляет сигналы на порты акселерометра и ДУС, которые принимают тактовые импульсы с портов микроконтроллера. Доминирующим устройством остается микроконтроллер. Он будет заниматься обработкой поступившей информации. Принятые приемником управляющие сигналы поступают на микроконтроллер, и он формирует управляющие сигналы самостоятельно. Прошивка микроконтроллера осуществляется с помощью программатора. На датчики давления создается давление от трубки Пито, и они также формируют управление.

Спроектированный блок управления питается от напряжения +8В, напряжение поступает с радиоприемника сигналов управления. При уменьшении температуры окружающей среды можно поднять это напряжение до 10 – 12В.

Данный управляющий блок является аппаратной реализацией системы управления и является весьма универсальным для применения в БПЛА, в которых использованы стандартные ШИМ сигналы (с периодом 20 мс) для приводов и приемников.

За необходимый алгоритм управления для конкретного БПЛА отвечает программа, установленная в микроконтроллер. Разработка подобной программы задача отдельной работы, поэтому в данной работе этот вопрос не рассматривался.

Характеристики управляющего блока:

- Питание: от шины питания приемника сигналов напряжением 4В – 8В;
- Потребляемый ток 0,5 А;
- Количество входных ШИМ сигналов: 8;
- Количество выходных ШИМ сигналов: 8;
- Диапазон рабочих температур: от – 40 °С до +70 °С;
- Измерение барометрической высоты;
- Измерение воздушной скорости;
- Измерение углов ориентации, ускорений.

Спроектированный блок управления питается от напряжения +8В, напряжение поступает с радиоприемника сигналов управления. При уменьшении температуры окружающей среды можно поднять это напряжение до 10 – 12В.

Данный управляющий блок является аппаратной реализацией системы управления и является весьма универсальным для применения в БПЛА, в которых использованы стандартные ШИМ сигналы (с периодом 20 мс) для приводов и приемников.

За необходимый алгоритм управления для конкретного БПЛА отвечает программа, установленная в микроконтроллер. Разработка аналогичной программы задача отдельной работы, поэтому в данной работе этот вопрос не рассматривался. [2]

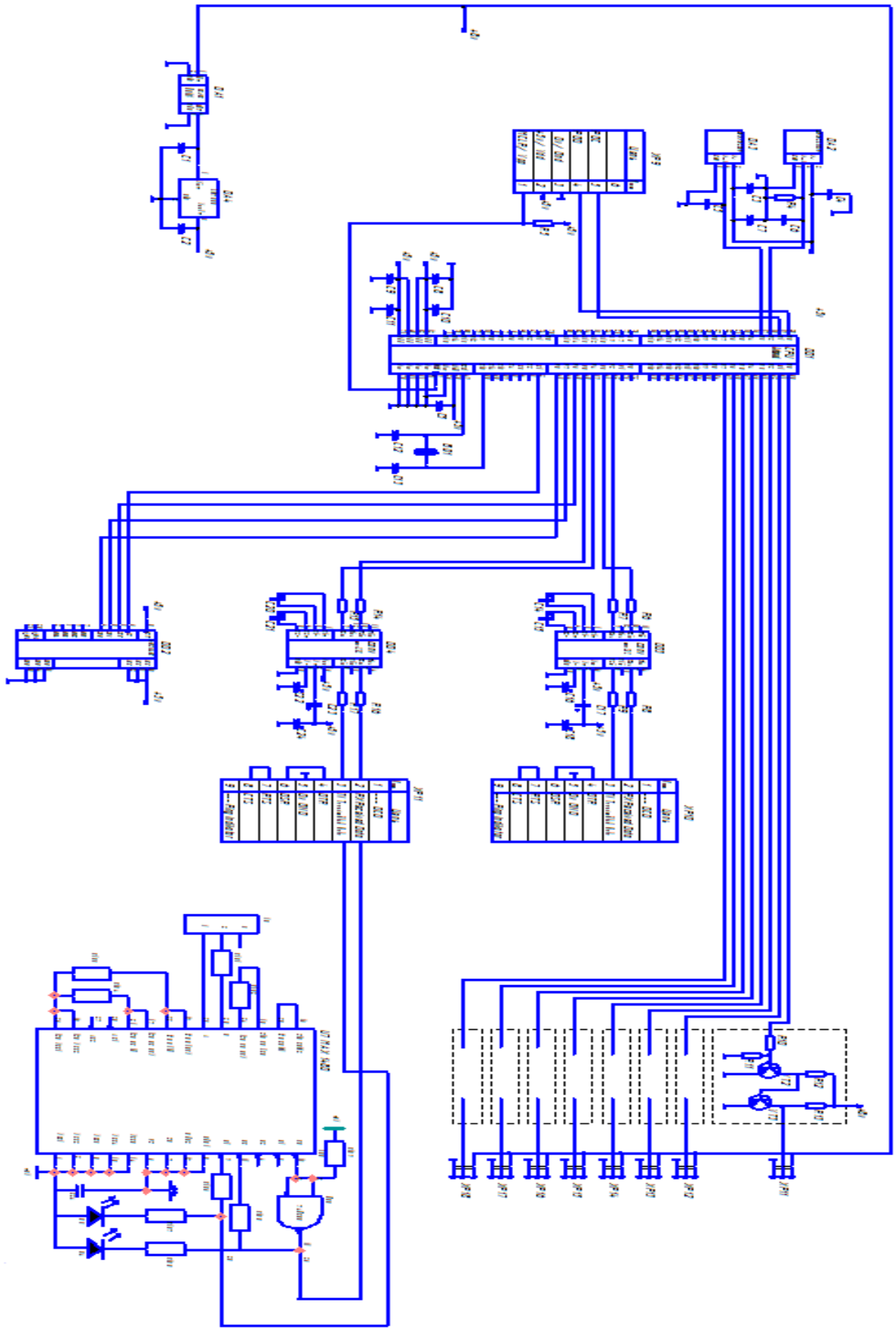


Рис.2 Принципиальная схема системы управления и перечень элементов

Основные элементы схемы (рис.2) приведены ниже:

- ✓ Микроконтроллер *DSPIC30F6014A*
- ✓ Преобразователь CNU010VCTN
- ✓ Интерфейс MAX232
- ✓ МЕМС модуль ADIS16405 BMLZ 4 ,75В [3]

4. Схема БПЛА

Система координат, силы и моменты

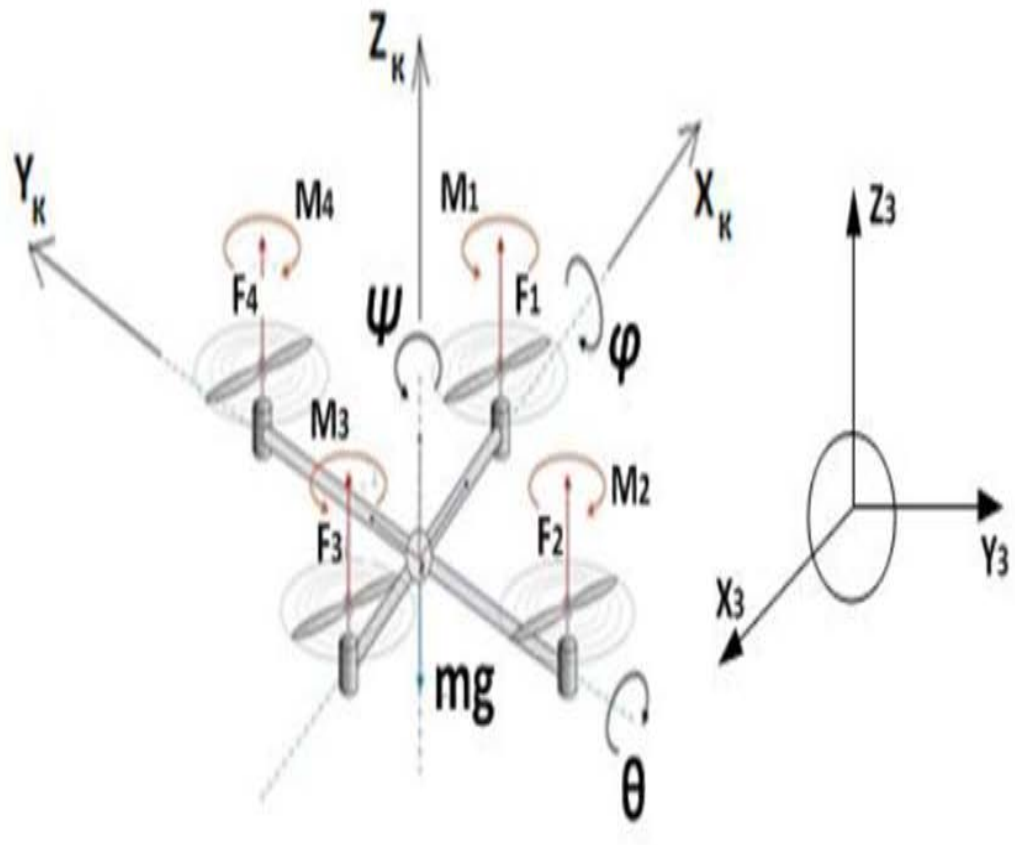


Рис.3 Система координат и отсчета положения квадрокоптера

Уравнения движения БПЛА, формирование управления:

$$J_z\ddot{\varphi} = \sum M_z = F_1 l_x + F_2 l_x - F_3 l_x - F_4 l_x$$

$$J_x\ddot{\theta} = \sum M_x = F_1 l_z + F_4 l_z - F_2 l_z - F_3 l_z$$

$$J_y\ddot{\psi} = \sum M_y = M_2 + M_4 - M_1 - M_3$$

$$F_1 = k_в w_1$$

$$F_2 = k_в w_2$$

$$F_3 = k_в w_3$$

$$F_4 = k_в w_4$$

$$M_1 = k_м w_1$$

$$M_2 = k_м w_2$$
$$M_3 = k_м w_3$$
$$M_4 = k_м w_4$$

$$w_1 = w_m + \Delta w_\varphi + \Delta w_\theta - \Delta w_\psi$$
$$w_2 = w_m + \Delta w_\varphi - \Delta w_\theta + \Delta w_\psi$$
$$w_3 = w_m - \Delta w_\varphi - \Delta w_\theta - \Delta w_\psi$$
$$w_4 = w_m - \Delta w_\varphi + \Delta w_\theta + \Delta w_\psi$$

M1, M2, M3, M4 – момент силы; Нм,
F1, F2, F3, F4 – сила, Н;
Jx, Jy, Jz – момент инерции по осям x, y, z, $кг * м^2$;
kb – коэффициент упора;
km – коэффициент момента;
w1, w2, w3, w4 – угловая скорость;
wm – подача оборотов;
$\Delta w_\varphi, \Delta w_\theta, \Delta w_\psi$ – угловые скорости по угла крена, тангажа и рыскания;
lx, lz – длина корпуса.

В данной работе предложен универсальный управляющий блок для применения в БПЛА, который использует стандартные ШИМ сигналы (с периодом 20 мс) для приводов и приемников. Так же в работе представлена математическая модель, используемая для управления БПЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.И.Гаркушенко, Г.Л.Дегтярев. Теория автоматического управления: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010.

2.«Беспилотные самолеты вертикального взлета и посадки»/ под ред. д-ра техн. Наук, профессора Н.К. Лисейцева, –М: Изд-во МАИ, 2009.

3.http://kazus.ru/datasheets/pdfdata/2855376/MICROCHIP/DSPIC30F6014A.html (24.04.2016).

CONTROL SYSTEM UAV

N.N. Alekseev
1nike93@mail.ru
Supervisor: Terentyev S.A., PhD, Associate Professor ,
Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Kazan

*Abstract.*In the article, a control block is proposed which is a hardware implementation of the control system and is very versatile for UAV applications, using standard PWM signals (with a period of 20 ms) for drives and receivers.

УДК 65.011.56

СИСТЕМА ФАСОВКИ И ВЗВЕШИВАНИЯ КОНТАКТОВ

Батин Е.М.
batinem@mail.ru
Научный руководитель: А.А. Теперин, ст.преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

На сегодняшний день ни одно производство, нацеленное на высокую производительность и также увеличение качества продукта, не обходится без контроля веса выпускаемой продукции, а также его фасовки. Востребованность данных систем особенно выделяется в электронной, пищевой, фармацевтической, а также в химической промышленности. Для многих производителей система фасовки является ключевым элементом, который обеспечивает эффективность и качество производства. Данная система позволит обеспечить сбор данных о продукции, отслеживать количество отбракованных продуктов, оптимизировать производственные процессы, уменьшить затраты на труд обслуживающего персонала и способствовать метрологическим стандартам.

Основная часть.

В первую очередь был произведен обзор возможных технических решений(ТР), были выделены их преимущества и недостатки. После осуществления обзора ТР, за основу была взята система фасовки компании Comunetti.RSRL.

После выбора ТР была составлена итоговая кинематическая схема системы (рисунок 1).

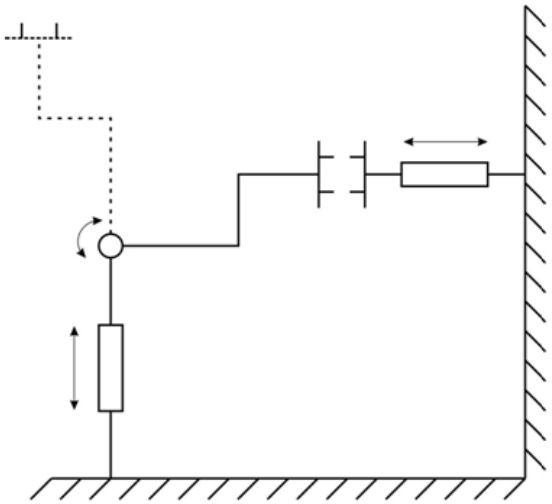


Рисунок 1. Кинематическая схема.

Сверху расположена полка с пакетами, которые при помощи вакуумных присосок перемещаются к месту их открытия. В данном варианте используется два линейных пневмоцилиндра и один поворотный пневмоцилиндр, на котором закреплен кронштейн с присосками.

При рассмотрении технических решений для взвешивания упаковок был выбран вариант с созданием весов на основе тензодатчика и Arduino. Тензодатчик является весоизмерительным элементом, который учитывает и преобразует в цифровой сигнал появление механической деформации от массы груза на пластине, прикрепленной к нему. Таким образом, информация о массе ZIP-Lock пакета передается на Arduino, где производится анализ и отбраковывание продукции, а затем передается соответствующий аналоговый сигнал на ПЛК.

Была составлена структурная схема системы, где отображен принцип действия системы в общем виде (рисунок 2).

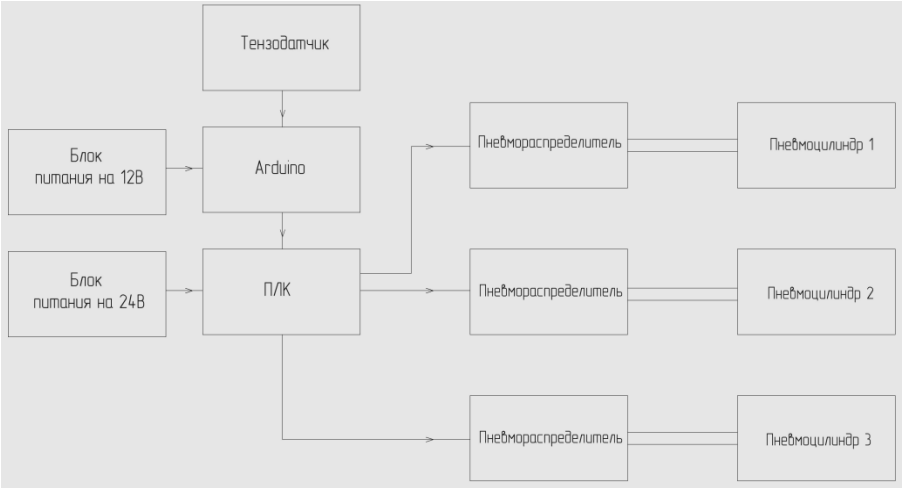


Рисунок 2. Структурная схема.

Здесь пневмоцилиндр 1 – совершает линейное перемещение поворотного цилиндра, пневмоцилиндр 2 – совершает перемещение ZIP-Lock пакетов от полки до места открытия, пневмоцилиндр 3 – совершает открытие пакета.

На основании предыдущих схем, также была составлена пневматическая схема системы, на которой изображены все гидравлические элементы, необходимые для осуществления гидравлических процессов, а также все пневматические связи между ними.

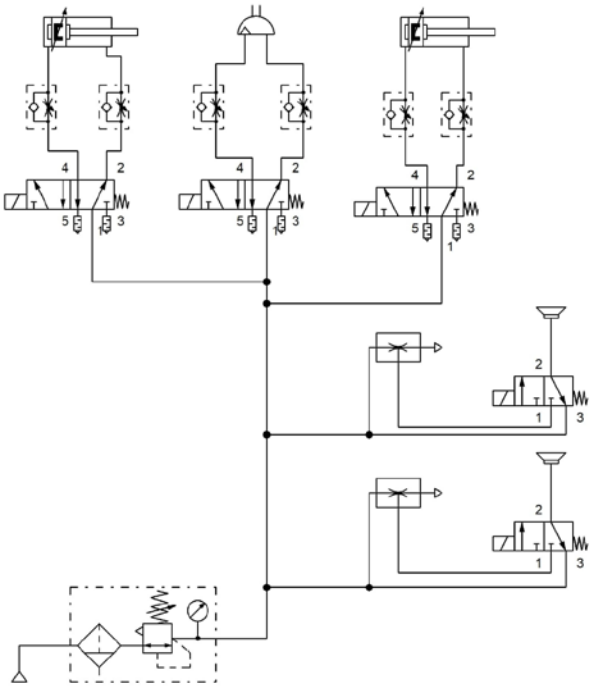


Рисунок 3. Пневматическая схема.

Далее были выбраны пневмокомпоненты системы, а также произведены необходимые расчеты.

Для пневмоцилиндров 1 и 3 был произведен расчет усилия, развиваемого цилиндрами по формуле:

$$F_E = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot D^2 \cdot p \qquad (1)$$

Для пневмоцилиндра 2 был расчитан необходимый диаметр поршня по формуле:

$$D = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{P_{тр}}{K_1 \cdot K_2 \cdot P_{наг}}} \quad (2)$$

Также был произведен расчет необходимого сечения пневмораспределителя по формуле:

$$S = \frac{Q}{22{,}2 \cdot \sqrt{(p_2 + 1{,}013) \cdot \Delta p}} \quad (3)$$

При создании конструкции были разработаны и выполнены все кронштейны и соединительные элементы для крепления цилиндров к алюминиевому профилю, служащего каркасом системы.

Для управления пневмоэлементами системы был выбран ПЛК. Основными параметрами при выборе данного элемента служили доступность, стоимость и количество входов и выходов.

Далее была составлена программа, работающая на основе таймеров, контроллер за определенные промежутки времени подает сигналы на пневмораспределители, которые обеспечивают работу пневмоцилиндров для перемещения ZIP-Lock пакета к месту открытия.

Результаты. Результатами работы над системой фасовки и взвешивания являются проведение эксперимента с присосками, который показал, что они имеют возможность открывать ZIP-Lock пакет, тестирование программы ПЛК, которая включала или выключала светодиодные индикаторы, симулирующие входы и выходы пневмораспределителей, а также была произведена сборка конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1.Классификация фасовочно-упаковочного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа:URL:https://all-package.livejournal.com/328.html

2.Учеб.пособие для втузов: В 3 кн. /Под ред. К. В. Фролова, Е. И. Воробьева. Кн. 1: Кинематика и динамика / *Е. И. Воробьев, С. А. Попов, Г. И. Шевелева.* – М.: Высш. шк. , 1988. – 304 с.

3. Международные курсы. Пневмоавтоматика. Учебное пособие [Электронный ресурс]. - Режим доступа:URL:http://smc138.valuehost.ru/Training/pnevmoavtomatika_pages.pdf

CONTACT PACKING AND WEIGHING SYSTEM

Batin E.M.

batinem@mail.ru

Supervisor: Teperin A.A, senior lecturer

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

To date, no production, aimed at high performance and also an increase in product quality, can not do without controlling the weight of the products, as well as its packaging. The demand for these systems is particularly prominent in the electronic, food, pharmaceutical, and chemical industries. For many manufacturers, the packaging system is a key element that ensures the efficiency and quality of production. This system will ensure the collection of data on products, track the number of rejected products, optimize production processes, reduce the labor costs of service personnel and promote metrological standards.

УДК 531.383

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ГИРОВЕРТИКАЛИ МАНЕВРЕННОГО ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

Белов Д.А.
dimonchik10_95@mail.ru
Научный руководитель: А.А. Потапов, к.т.н., доцент
(Казанский научно-исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Построена имитационная модель работы гировертикали для подвижного объекта с не ограниченными углами тангажа и крена. Основу модели составляют уравнения движения гировертикали с коррекцией от маятников со следящей рамой, составленные в параметрах, определяющих отклонение вектора кинетического момента гировертикали от вертикали места. Модель построена на основе пакета MatLab & Simulink, с учетом тестовых движений летательного аппарата. Приведены результаты моделирования погрешности работы гировертикали при разных маневрах летательного аппарата.

В настоящее время неуклонно возрастает число разных маневренных подвижных объектов (ПО): объектов не имеющих ограничений на углы ориентации и, прежде всего, на углы тангажа и крена [1].

Исследование работы этих устройств, выбор параметров в ходе проектирования при разных характеристиках движения подвижного объекта наиболее рационально проводить, используя имитационные модели, в которых используются соответствующие математические уравнения работы гировертикали. Неограниченность маневров ПО накладывает особенность на построение этих уравнений.

Имитационная модель гировертикали для маневренного подвижного объекта должна осуществлять исследование работы гировертикали при любом маневре подвижного объекта. В связи с этим разрабатываемая модель должна иметь три модуля: модуль имитации движения подвижного объекта, модуль работы гировертикали и модуль управления (ввод режимов и параметров движения ПО, ввод параметров гировертикали, управление параметрами вывода полученной информации).

Общая идеология работы разработанной имитационной программы представлена в виде дракон-схемы [2] на рис.1.

Реализация дракон-ветки «имитационная модель» осуществлена в пакете Simulink, а остальные ветки дракон-схемы – в пакете MatLab в форме M-file. В ветке «ввод данных» реализуется ввод параметров исследуемой гировертикали, параметры движения ПО для каждого режима его движения. В ветке «режим исследования» по заданному коду исследуемой задачи выбирается режим движения ПО (при необходимости параметры движения ПО могут быть скорректированы) и осуществляется переход к модели гировертикали (ветка «имитационная модель»). Результаты моделирования передаются в блок формирования результатов (ветка «вывод») и программа переходит к ветке "режим исследования" и запрашивается у оператора "продолжить работу или завершить". При вводе оператором кода завершения работы программа переходить в ветку "завершение работы".

При составлении уравнений работы гировертикали на основе трехстепенного гироскопа с коррекцией от маятников и со следящей рамой по крену используются следующие системы координат: $O_oX_oY_oZ_0$ – инерциальная геоцентрическая система координат; $O_oX_1Y_1Z_1$ – первая геоцентрическая система координат; $O_oX_2Y_2Z_2$ – вторая геоцентрическая система координат; $O_gX_gY_gZ_g$ - географическая система координат; $O_gX_mY_mZ_m$ – маршрутная система координат; $O_cX_cY_cZ_c$ – связанная система координат; $O_cX_sY_sZ_s$ – система координат следящей рамы; $O_cX_nY_nZ_n$ – система координат наружной рамы; $O_cX_rY_rZ_r$ – система координат Резаля (гироузла).

В системах координат используются следующие параметры: u – угол поворота Земли относительно инерциальной геоцентрической системы координат; λ, φ – географические

долгота и широта места положения географической системы координат; $\boldsymbol{R}$ – радиус Земли; $\boldsymbol{h}$ – высота полета ЛА; $\boldsymbol{\Psi, \vartheta, \gamma}$ – углы ориентации ПО относительно географической системы координат соответственно: углы истинного курса, тангажа и крена.

Основой для построения уравнений работы гировертикали являются кинематические уравнения, связывающие параметры ориентации ПО с параметрами ориентации гировертикали. $\boldsymbol{\alpha_y, \alpha, \beta}$ – углы поворота элементов гировертикали: угол поворота следящей рамы, угол поворота наружной рамы и угол поворота гироузла.

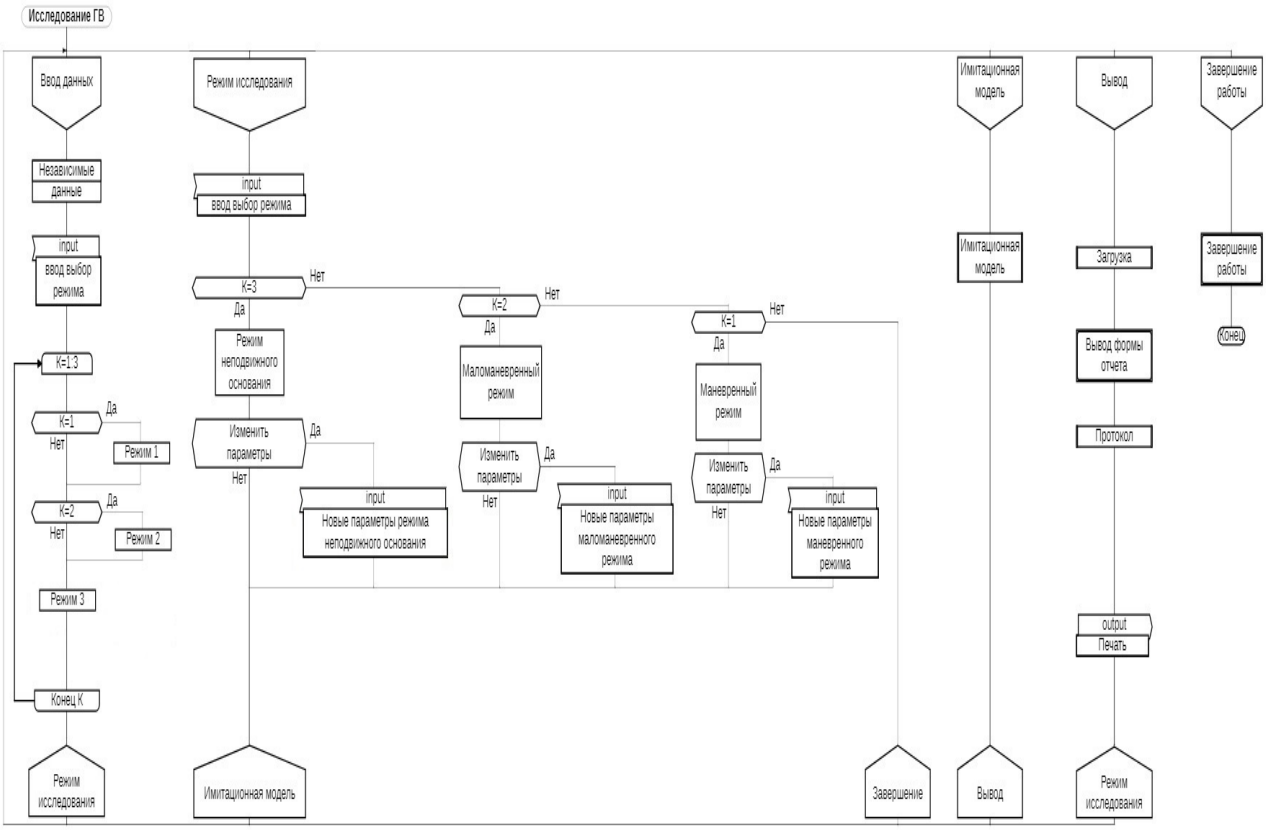


Рис. 1. Дракон-схема алгоритмов работы имитационной модели гировертикали маневренного ПО

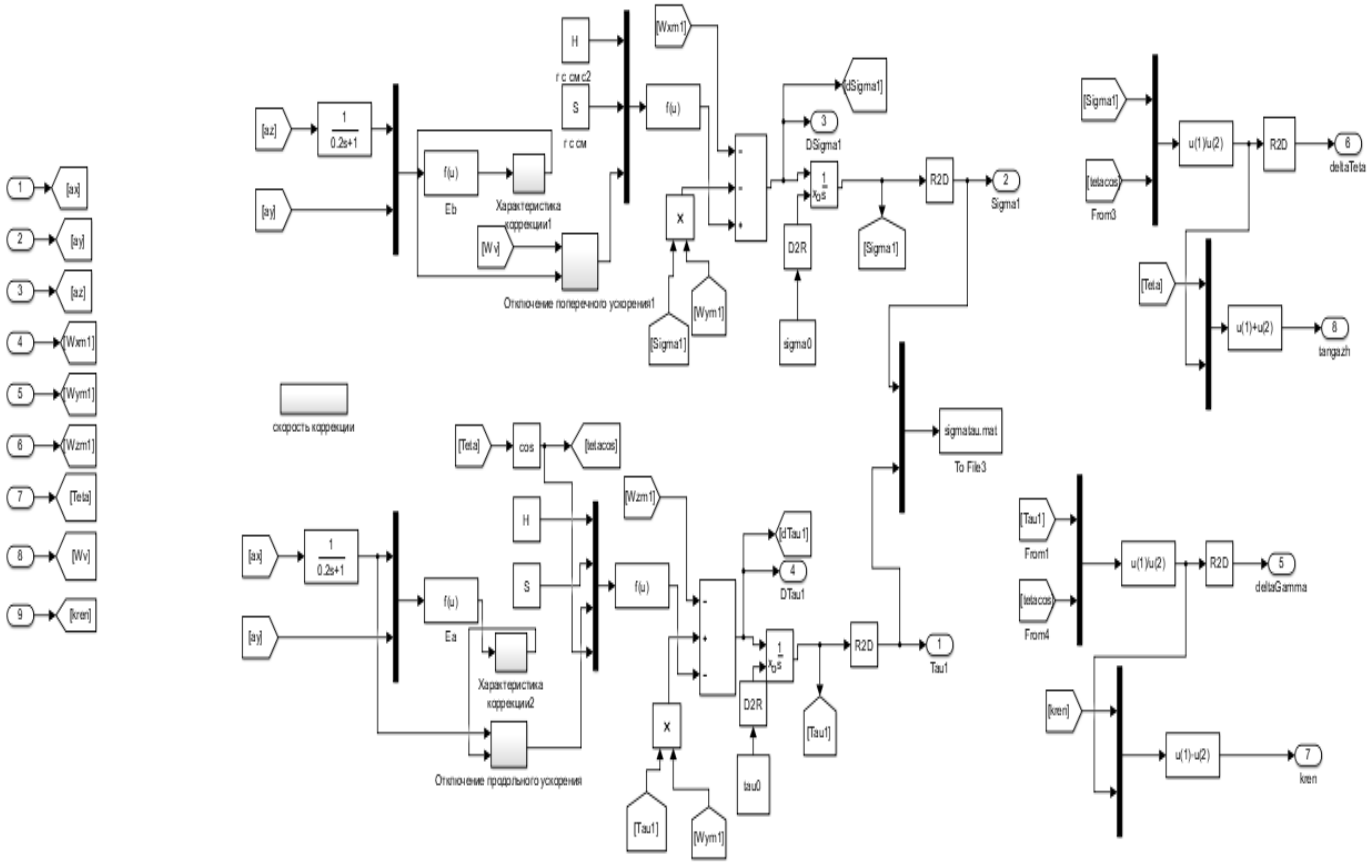


Рис. 2. Sim- модель гировертикали

Связь между системами координат и параметрами их ориентации представлена на рис. 3.

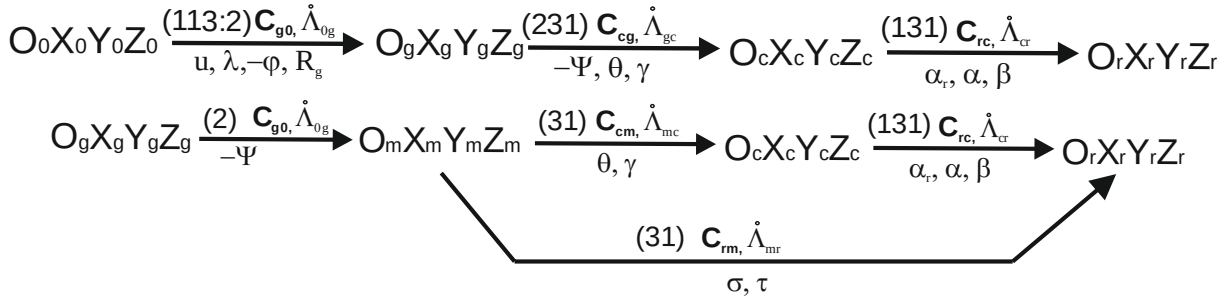


Рис.3. Связь между системами координат

Здесь X_r, Y_r, Z_r – система координат гироузла (оси Резаля); X_n, Y_n, Z_n – система координат наружной рамы гировертикали; $p,\ q,\ r$ – проекции абсолютной угловой скорости гироузла гировертикали на его оси; A, B – оси подвеса наружной рамы гировертикали и ось подвеса его гироузла; H – кинетический момент гировертикали. Положение одной системы координат относительно другой может быть задано с помощью, как матрицы направляющих косинусов C_{ij}, так и кватернионов Λ_{ij}.

Отметим, что ориентацию вектора кинетического момента гироскопа можно параметры ориентации, определяющие отклонение этого вектора от вертикали места углами σ, τ:

$$C_{rm}(\sigma,\tau) = C_{rc}(\alpha_r,\alpha,\beta)\cdot C_{cm}(\vartheta,\gamma);$$

Здесь

$$C_{cm} = \begin{bmatrix} \cos(\vartheta) & \sin(\vartheta) & 0 \\ -\sin(\vartheta)\cdot\cos(\gamma) & \cos(\vartheta)\cdot\cos(\gamma) & \sin(\gamma) \\ \sin(\vartheta)\cdot\sin(\gamma) & -\cos(\vartheta)\cdot\sin(\gamma) & \cos(\gamma) \end{bmatrix};$$

$$\boldsymbol{C_{rm}} = [-\sin(\sigma)\cdot\cos(\tau) \quad \cos(\sigma)\cdot\cos(\tau) \quad \sin(\tau)] = [-\sigma \quad 1 \quad \tau].$$

$$\boldsymbol{C_{rc}} = \begin{bmatrix} -\mathrm{s}(\alpha)\cdot\mathrm{c}(\beta) & \begin{pmatrix}\mathrm{c}(\alpha_r)\cdot\mathrm{c}(\alpha)\cdot\mathrm{c}(\beta) - \\ -\mathrm{s}(\alpha_r)\cdot\mathrm{s}(\beta)\end{pmatrix} & \begin{pmatrix}\mathrm{s}(\alpha_r)\cdot\mathrm{c}(\alpha)\cdot\mathrm{c}(\beta) + \\ +\mathrm{c}(\alpha_r)\cdot\mathrm{s}(\beta)\end{pmatrix} \end{bmatrix}$$

Здесь приняты упрощенные обозначения тригонометрических функций, вида: $\sin(\alpha) = s(\alpha);\ \cos(\alpha) = c(\alpha)$.

Учитывая малость угла β, что обеспечивается штатной работой системы следящей рамы, решая кинематические уравнения, связывающие параметры ориентации гировертикали и параметры ориентации ПО, получим

$$\gamma_{из} = \gamma + \frac{\beta - \tau}{\cos(\vartheta)} = -\alpha_{\mathrm{p}}; \qquad \vartheta_{из} = \vartheta - \sigma = \alpha$$

Таким образом, полученные соотношения связывают показания датчиков углов поворота следящей рамы α_{p} и наружной рамы α с отклонениями кинетического момента гировертикали от вертикали места (углами σ, τ) и погрешностью работы следящей рамы β, что и определяет погрешности измерения углов крена и тангажа ПО.

Отклонения вектора кинетического момента от вертикали места определяется решением дифференциальных уравнений гировертикали. Для этого достаточно рассмотреть прецессионные уравнения гировертикали. Учитывая маневренность ПО, уравнения движения необходимо составить в параметрах отклонения вектора кинетического момента от вертикали места, т.е. в углах σ, τ .

Согласно принципу Д'Аламбера прецессионные уравнения гировертикали примут вид:

$$H\cdot\dot{\tau} + S_A\cdot\tau = S_A\cdot\frac{a_z}{g} - H\cdot\left(p_1 - \dot{\Psi}\cdot\sigma + \dot{\beta}\right) + m_{trA}\cdot sign\left(\dot{\vartheta} + \dot{\sigma}\right) + M_A^*;$$

$$H\cdot\dot{\sigma} + S_B\cdot\sigma = -S_B\cdot\frac{a_x}{g} - H\cdot\left(r_1 + \dot{\Psi}\cdot\tau\right) + m_{trB}\cdot sign\left(\dot{\beta}\right) - M_B^*.$$

Здесь $M_{kB} = f_B(e_B)$ – момент коррекции, создаваемый системой продольной коррекции, по оси подвеса гироузла; $M_{kA} = f_A(e_A)$ – момент коррекции, создаваемый системой продольной коррекции, по оси подвеса наружной рамы гироузла; M_{trB} – момент сил сухого трения в опорах подвеса гироузла; M_{trA} – момент сил сухого трения в опорах подвеса наружной рамы гироузла; M_B^* – прочие возмущающие моменты, действующие относительно оси подвеса гироузла; M_A^* – прочие возмущающие моменты, действующие относительно оси подвеса гироузла; e_A, e_B – углы, определяющие положение «ложной» вертикали, связанные с ускорениями, действующими на маятники систем горизонтальной коррекции, соотношениями:

$$tg(e_B) = \frac{a_{xr}}{a_{yr}}; \qquad tg(e_A) = -\frac{a_{zr}}{a_{yr}}.$$

где a_{xr}, a_{zr} – проекции кажущегося ускорения гироузла на его оси .

Моменты сил сухого трения, действующие в опорах подвеса гироузла, представлены в виде:

$$M_{trB} = -m_{trB}\cdot sign\left(\dot{\beta}\right);$$

$$M_{trA} = -m_{trA}\cdot sign(\dot{\alpha} - \dot{\sigma}) \cong m_{trA}\cdot sign\left(\dot{\vartheta}\right).$$

Характерный результат моделирования работы гировертикали на маневренном ПО, на котором имеется четкая зависимость погрешности работы гировертикали от вида режима движения и его параметров, – представлен на рис. 4.

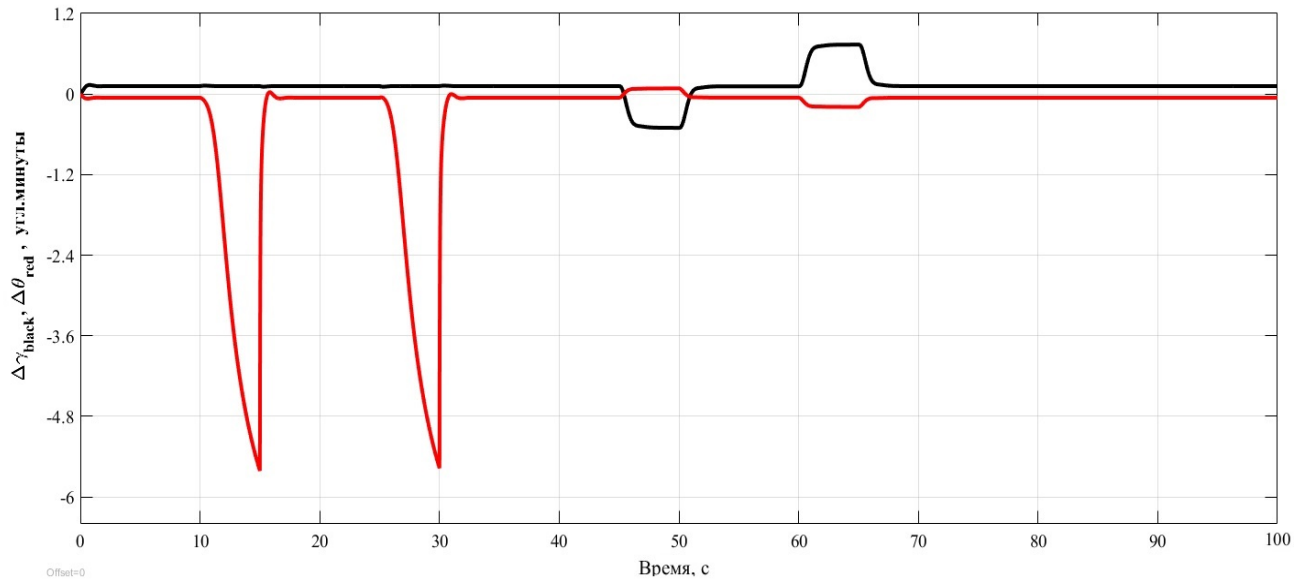


Рис.4. Погрешности определения углов крена и тангажа при наборе тестовых режимов ПО

Таким образом, рассмотренный подход составления имитационной модели работы гировертикали на маневренном ПО позволяет провести анализ работы гировертикали при любом характере движения подвижного объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Савельев В.В.* Гироскопы, гироскопические приборы и системы: Учеб. пособие / В.В. Савельев. – 3-е изд. перераб. и дополн.: ТулГУ, 2014 – 236 с.

2. *Пароджанов В.Д.* Как улучшить работу ума: Алгоритмы без программистов – это очень просто! – М.: Дело, 2001 – С. 360.

PAPER TITLE SIMULATION MODEL GYROVERTICAL MANEUVERABLE MOVING OBJECT

Belov D.

dimonchik10_95@mail.ru

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

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

A simulation model of gyrovertical operation for a moving object with unlimited pitch and roll angles is constructed. The basis of the model is the equations of motion of the gyrovertical with correction from pendulums with a tracking frame, compiled in the parameters that determine the deviation of the kinetic moment vector of the gyrovertical from the vertical of the place. The model is based on The Matlab & Simulink package, taking into account the test movements of the aircraft. Simulation results of the error operation of the gyroscopes with different maneuvers of the aircraft.

УДК 629.78:351.814.3

К ПРОДОЛЬНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В АТМОСФЕРЕ ПРИ ВОЗМУЩЕНИЯХ

Богданов С.О.
mrc.bogdanov@yandex.ru
Научный руководитель: А.С. Мещанов, к.т.н., с.н.с.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г.Казань)

Рассматривается космический летательный аппарат (КЛА) - модуль, третья ступень многоразовой космической транспортной системы (МКТС), в продольном движении при посадке в атмосфере. Аэродинамические формы таких модулей в двухосной компоновке близки к самолетным и при наличии рулевых ракетных двигателей (РРД), обеспечивающих угловые движения по всем трем углам Эйлера, позволяют использовать скорость (150 и более м/с), сохраняемую модулями после схода с орбиты и эффективного торможения в атмосфере в одноосной компоновке для устойчивого полета в сторону места приземления (либо приводнения). Представлено управление, регулирующее при заданных показателях качества переходных процессов и параметры его установившихся колебаний, а также обеспечивающее существенное уменьшение и минимизацию его энергетических затрат.

Рассматривается система уравнений продольного движения КЛА (Рис.1) [1]

$$\dot{x} = Ax + Bu + DF, \tag{1}$$

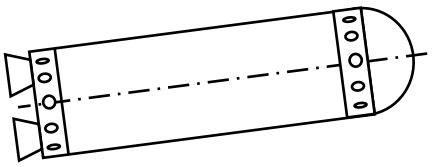


Рис.1. Космический летательный аппарат (КЛА) –модуль МКТС в двухосной пакетной компоновке.

где $x = (x_1 \ldots, x_4)^T = (V, \alpha, \vartheta, \dot{\vartheta})$, $A = A_0 + \Delta A$, $B = B_0$, $u = (u_1, u_2)^T$, u_1 и u_2 - управления по дросселируемым тягам маршевых РД (МРД) и РРД тангажа, $D = D_0$, $F = \Delta F$; составляющие с индексом «0» означают номинальные (известные) матрицы и столбцы, а с символом «Δ» - неопределенные возмущения с ограниченными в известных пределах элементами:

$$A_0 = \left(a_{ij}^0\right)_1^4 = \begin{pmatrix} 0{,}010 & 0{,}080 & -0{,}200 & 0 \\ -0{,}680 & -2{,}500 & 0 & 1{,}000 \\ 0 & 0 & 0 & 1{,}000 \\ 1{,}276 & -14{,}250 & 0 & -2{,}900 \end{pmatrix}, B = B_0 = \left(b_{ir}\right) = \begin{pmatrix} 0{,}020 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -100{,}000 \end{pmatrix}, D = D_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, F = \Delta F = \begin{pmatrix} \Delta f_1 \\ \Delta f_2 \end{pmatrix}, \Delta f_1 = \frac{d}{dt}\left(\frac{V_x}{V_0}\right), \tag{2}$$

[2, с.25], где V_x - горизонтальная составляющая порывов ветра, V_0 – установившаяся (программная) скорость КЛА, далее принимается, что Δf_1 изменяется неопределенным образом, в силу смены направления скорости ветра, в пределах ограничений $-0{,}01 \le \Delta f_1 \le 0{,}01$; при моделировании принято $\Delta f_1 = 0{,}01 \sin \omega_1 t$, с различными значениями ω_1, например, с $\omega_1 = \pi$ *рад/с*; Δf_2 – определяется массой и расстоянием от центра масс КЛА сбрасываемого груза [2, с.25], далее принимается, что данное неопределенное возмущение удовлетворяет ограничениям: $-1 \le \Delta f_2 \le 1$ и моделируется различными функциями, например, $\Delta f_2 = 1 \cdot \cos \omega_2 t$ с частотой равной, $\omega_2 = 2\pi$ *рад/с*. Матрица ΔA параметрических возмущений $\Delta A = \left(\Delta a_{ij}\right)_1^4$ имеет, кроме нулевых составляющих, возмущения $\Delta a_{11} = \Delta n_{11}$ и $\Delta a_{14} = \Delta n_{14}$, обусловленные неопределенными местными изменениями плотности атмосферы по отношению к ее значениям по данным стандартной атмосферы; при численном моделировании системы управления учитываются ограничения $-0{,}001 \le \Delta a_{11} \le 0{,}001$; $-0{,}0004 \le \Delta a_{14} \le 0{,}0004$, и возмущения полагаются, например, равными $\Delta a_{11} = 0{,}001 \sin \omega_3 t$, $\Delta a_{14} = 0{,}0004 \sin \omega_4 t$, $\omega_3 = \omega_4 = 1$ *рад/с*. Определение их более точных значений не влияет на качество процессов скользящего режима, так как матрица параметрических возмущений $\Delta A(t)$ и матрица входа

внешних возмущений $D = D_0$ удовлетворяют известным условиям инвариантности скользящих режимов ко всем приведенным неопределенным параметрическим и внешним возмущениям [3]: $\Delta A(t) = B_0 \lambda_{\Delta A}(t)$, $D = D_0 = B_0 \lambda_F$, где $\lambda_{\Delta A} = \begin{pmatrix} \Delta a_{11}(t)/0{,}02 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\Delta a_{14}(t)/100 \end{pmatrix}$, $\lambda_F = \begin{pmatrix} \lambda_{11F} & 0 \\ 0 & \lambda_{22F} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/0{,}02 & 0 \\ 0 & -1/100 \end{pmatrix}$, за исключением Δa_{21} и Δa_{22}.

Задача 1. Синтезировать для КЛА при выполнении условий инвариантности к возмущениям: - многообразие скольжения с двумя гиперплоскостями переключений структур по заданному повышенному качеству переходных процессов; - разрывное управление, приводящее систему в скольжение на данное многообразие. Задача 2. Промоделировать численный пример системы стабилизации. Задача 3. Повысить эффективность управления КЛА путем: регулирования параметров установившихся колебаний управления с устранением их возможного негативного воздействия на звенья системы; уменьшения энергетических затрат на управление; синтеза многообразий скольжения и управления нового типа при невыполнении условий инвариантности.

Синтез многообразия скольжения и разрывного управления - решение задачи 1.

Согласно Теореме 2 работы [3], $m \times n$ – матрица C системы скользящего режима $\dot{x} = [E - B_0 (CB_0)^{-1} C] A_0 x$ на $(n-m)$ – мерном многообразии $S (s = Cx = 0)$ находится необходимо и достаточно как решение системы $(A_0 + B_0 K_э)^T C^T = 0$, в которой предварительно $m \times n$ – матрица $K_э$ в силу управляемости пары (A_0, B_0) обеспечивает m нулевых и заданное распределение остальных $\lambda = (\lambda_1, ..., \lambda_{n-m})$ $n-m$ собственных значений матрицы $A_0 + B_0 K_э$. При заданном распределении $\lambda = (-1, -1)$ со степенью элементарного делителя равной двум для управляемой пары (A_0, B_0) находим

$$K_э = \begin{pmatrix} 15{,}500 & 54{,}950 & 10 & -39{,}300 \\ 0{,}017 & -0{,}124 & 0 & -0{,}030 \end{pmatrix}; \quad C = \begin{pmatrix} C^{1T} \\ C^{2T} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3{,}183 & 1{,}502 & 1 & 0 \\ -1{,}676 & 1{,}497 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \tag{3}$$

Для реализации такого скользящего режима с заданным качеством переходных процессов находится разрывное управление u в виде суммы

$$u = u_0 + u_\Delta, \tag{4}$$

где u_0 для номинальной системы (1), то есть при $\Delta A(t) = 0$ и $F(t) = \Delta F(t) = 0$, а слагаемое u_Δ преодолевает возможное неблагоприятное влияние неопределенных возмущений $\Delta A(t)$ и $F(t) = \Delta F(t)$ на процесс приведения системы в скользящий режим. С этой целью производная $\dot{s}$ разбивается на сумму:

$$\dot{s} = \dot{s}_0 + \dot{s}_\Delta, \tag{5}$$

где $\dot{s}_0 = CA_0 x + CB_0 u_0$, $\dot{s}_\Delta = C\Delta A x + CB_0 u_\Delta + CD_0 \Delta f$. Управление u_0 находится по необходимому условию равенства производной $\dot{s}_0$ и выражению $\dot{s}_0 = K_g g + K_s s$ с диагональными матрицами K_g, K_s в общем случае разрывных коэффициентов и по условиям существования скользящего режима и приведения в него [3]:

$$u_0 = (CB_0)^{-1} (K_g g + K_s s - CA_0 x), \tag{6}$$

$$\kappa_{g_j} = \kappa^+_{g_j} < 0 \text{ при } s_j g_j > 0, \quad \kappa_{g_j} = \kappa^-_{g_j} < 0 \text{ при } s_j g_j < 0, \quad \kappa_{s_j} = \kappa^+_{s_j} < 0 \text{ при } s_j g_j > 0, \quad \kappa_{s_j} = \kappa^-_{s_j} < 0 \text{ при } s_j g_j < 0, \quad j = 1,2.$$

По данным моделирований системы стабилизации значения параметров управления u_0 уточняются:

$$\kappa^+_{g_1} = -10, \quad \kappa^-_{g_1} = 10; \qquad \kappa^+_{s_1} = -15, \quad \kappa^-_{s_1} = -15; \quad \kappa^+_{g_2} = -10, \quad \kappa^-_{g_2} = 10; \qquad \kappa^+_{s_2} = -15, \quad \kappa^-_{s_2} = -15. \tag{7}$$

Управление u_Δ задается в виде

$$u_\Delta = (CB_0)^{-1} u^*_\Delta, \quad u_\Delta = (u_{\Delta 1}, u_{\Delta 2})^T, \quad u^*_\Delta = (u^*_{\Delta 1}, u^*_{\Delta 2})^T. \tag{8}$$

Раскрывая составляющие вектора $\dot{s}_\Delta$ (5) с учетом матрицы C (3) получаем

$$\dot{s}_{\Delta 1} = c_{11}\Delta a_{11}x_1 + c_{14}\Delta a_{14}x_4 + u^*_{\Delta 1} + c_{11}\Delta f_1; \quad \dot{s}_{\Delta 2} = c_{21}\Delta a_{11}x_1 + c_{24}\Delta a_{14}x_4 + u^*_{\Delta 2} + c_{21}\Delta f_1 + 1\cdot\Delta f_2.$$

Определяя $u^*_{\Delta 1}$ и $u^*_{\Delta 2}$ из условий попадания изображающей точки на обе гиперплоскости

$$s_j\dot{s}_{\Delta j} < 0, \quad j = 1,2, \tag{9}$$

задаемся их структурами в виде:

$$u^*_{\Delta 1} = c_{11}\kappa_{11}x_1 + c_{14}\kappa_{14}x_4 + c_{11}\kappa_{1\Delta f_1}, \qquad u^*_{\Delta 2} = c_{21}\kappa_{21}x_1 + c_{24}\kappa_{24}x_4 + c_{21}\kappa_{2\Delta f_1} + \kappa_{\Delta f_2}, \tag{10}$$

где коэффициенты $\kappa_{11},\ldots,\kappa_{\Delta f_2}$ являются разрывными. Представим производные $\dot{s}_{\Delta j}$ в виде

$$\begin{aligned}\dot{s}_{\Delta 1} &= c_{11}x_1(\Delta a_{11} + \kappa_{11}) + c_{14}x_4(\Delta a_{14} + \kappa_{14}) + c_{11}(\Delta f_1 + \kappa_{1\Delta f_1}),\\ \dot{s}_{\Delta 2} &= c_{21}x_1(\Delta a_{11} + \kappa_{21}) + c_{24}x_4(\Delta a_{14} + \kappa_{24}) + c_{21}(\Delta f_1 + \kappa_{2\Delta f_1}) + (\Delta f_2 + \kappa_{\Delta f_2}).\end{aligned} \tag{11}$$

Применяя условия (9) к каждой из слагаемых $\dot{s}_{\Delta j}$, получаем следующие условия для определения составляющих разрывных коэффициентов $\kappa_{11},\ldots,\kappa_{\Delta f_2}$ ::

$$\kappa_{11} = \kappa^+_{11} < \min_{\Delta a_{11}}(-a_{11}) \quad при \quad c_{11}x_1s_1 > 0, \qquad \kappa_{11} = \kappa^-_{11} > \max_{\Delta a_{11}}(-a_{11}) \quad при \quad c_{11}x_1s_1 \le 0,$$

$$\kappa_{\Delta f_2} = \kappa^+_{\Delta f_2} < \min_{\Delta f_2}(-\Delta f_2) \quad при \quad s_2 > 0, \qquad \kappa_{\Delta f_2} = \kappa^-_{\Delta f_2} > \max_{\Delta f_2}(-\Delta f_2) \quad при \quad s_2 \le 0. \tag{12}$$

Согласно условиям (12) далее полагаем: $\kappa^+_{11} = -0{,}0015$; $\kappa^-_{11} = -0{,}0015$; $\kappa^+_{14} = -0{,}0005$; $\kappa^-_{14} = -0{,}0005$; $\kappa^+_{1\Delta f_1} = -0{,}015$; $\kappa^-_{1\Delta f_1} = -0{,}015$; $\kappa^+_{21} = -0{,}0015$; $\kappa^-_{21} = -0{,}0015$; $\kappa^+_{24} = -0{,}0005$; $\kappa^-_{24} = -0{,}0005$; $\kappa^+_{2\Delta f_1} = -0{,}015$; $\kappa^-_{2\Delta f_1} = -0{,}015$; $\kappa^+_{\Delta f_2} = -1{,}1$; $\kappa^-_{\Delta f_2} = -1{,}1$.

С учетом выражения матрицы $(CB_0)^{-1}$ и значений матрицы C и B_0 получаем:

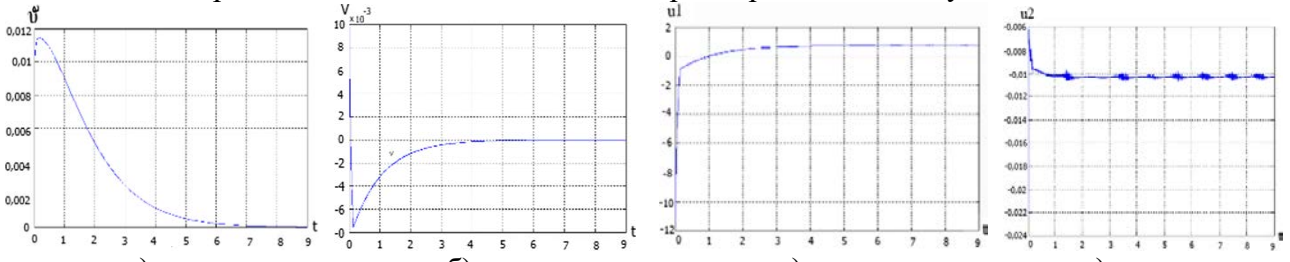
$$(CB_0)^{-1} = \frac{1}{|CB|}\begin{pmatrix} -100 & -0{,}02c_{11} \\ 0 & 0{,}02c_{11}\end{pmatrix}^T = \frac{1}{-2c_{11}}\begin{pmatrix} -100 & 0 \\ -0{,}02c_{21} & 0{,}02c_{11}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15{,}708 & 0 \\ -0{,}005 & -0{,}01\end{pmatrix}.$$

Составляющие управления u_Δ принимают вид:

$$\begin{aligned}u_{\Delta 1} &= (100/2c_{11})u^*_{\Delta 1} = 15{,}708(c_{11}\kappa_{11}x_1 + c_{14}\kappa_{14}x_4 + c_{11}\kappa_{1\Delta f_1}),\\ u_{\Delta 2} &= -0{,}005u^*_{\Delta 1} - 0.01u^*_{\Delta 2} = -0{,}005(c_{11}\kappa_{11}x_1 + c_{14}\kappa_{14}x_4 + c_{11}\kappa_{1\Delta f_1}) - 0{,}01(c_{21}\kappa_{21}x_1 + c_{24}\kappa_{24}x_4 + c_{21}\kappa_{2\Delta f_1} + \kappa_{\Delta f_2}).\end{aligned} \tag{13}$$

Результаты моделирования - решение задачи 2.

На рис.2а÷2г показаны в частности процессы стабилизации КЛА по отклонениям скорости, угла тангажа и процессы управления тягами МРД и РРД при постоянном воздействии перечисленных выше внешних и параметрических возмущений.



а) б) в) г)

Рис.2. Процессы по V (а), углу тангажа (б) и управлений тягами МРД (в) и РРД (г).

Как следует из Рис. 2, процессы стабилизации скорости, угла и тяги удовлетворяют задаваемым показателям качества, тогда как управление по РРД тангажа, и в меньшей степени управление по тяге МРД, содержат нерасчетные установившиеся колебания, связанные с действием неопределенных возмущений. В частности, проявляется

частота Δf_1 горизонтальной составляющей порывов ветра, сопровождаемая более высокой частотой, определяемой возмущением Δf_2 и выбранным шагом интегрирования.

Возможности повышения эффективности управления КЛА- решение задачи 3.

Во избежание возможного негативного воздействия параметров установившихся колебаний управления на звенья системы управления предлагаются методы регулирования частоты и амплитуды гибридным управлением с переключением управления (4) в малой окрестности многообразия скольжения на особое линейное управление с асимптотическим приведением системы на данное многообразие [5], а для уменьшения энергетических затрат на управление предлагается использование динамических свойств самого объекта (без управления) на определенных промежутках времени [6,7], а также и указанного гибридного управления и настройки параметров управлений (6), (8) с их заданным экспоненциальным нарастанием по модулю до предельных значений.

Задача стабилизации КЛА существенно усложняется при невыполнении условий инвариантности к возмущениям в случае действия не малых и взаимно не компенсируемых порывов ветра с изменением массы самолета при сбросе и перемещении грузов и действии взрывов, что может привести к неопределенному ограниченному возмущению $-1 \le \Delta f_3 \le 1$, которое моделируется, например, функцией $\Delta f_3 = 1 \cdot \sin \omega_3 t$ с частотой равной $\omega_3 = \pi \ рад/с$ в правой части второго уравнения системы. Тогда матрица $D = D_0$ в системе (1), (2) принимает размеры 4×3 с дополнительным, третьим, столбцом $d_0^3 = (0 \ \ 1 \ \ 0 \ \ 0)^T$ и условие инвариантности $D = D_0 = B_0 \lambda_{D_0}$, где $\lambda_{D_0} = (\lambda_1 \ \lambda_2)^T$, перестает выполняться. Ограничимся исследованием на примере данного случая.

Для синтеза управления система (1), (2) преобразуется к регулярной форме, при которой управление входит только в последние два уравнения. Переходя от координат вектора $x = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4)^T = (v \ \alpha \ \vartheta \ \dot{\vartheta})^T$ к новым координатам вектора $z = (z_1 \ z_2 \ z_3 \ z_4)^T = (\alpha \ \vartheta \ v \ \dot{\vartheta})^T$, получаем систему

$$\dot{z} = A_z z + B_z u + D_z F, \tag{14}$$

где $A_z = A_{z0} + \Delta A_z$, $B_z = B_{z0}$, $D_z = D_{z0}$, $F = \Delta F = (\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3)^T$, $-1 \le \Delta f_i \le 1$, $i = \overline{1,3}$,

$$A_{z0} = \left(a_{zij}^0\right)_1^4 = \begin{pmatrix} A_{z011} & A_{z012} \\ A_{z021} & A_{z022} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2{,}500 & 0 & -0{,}680 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0{,}080 & -0{,}200 & 0{,}010 & 0 \\ -14{,}250 & 0 & 1{,}276 & -2{,}900 \end{pmatrix}, \quad B_z = B_{z0} = \begin{pmatrix} B_{z01} \\ B_{z02} \end{pmatrix} = \left(b_{zir\,0}\right) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0{,}020 & 0 \\ 0 & -100{,}000 \end{pmatrix}, \ r = 1,2, \quad i = \overline{1,4},$$

$$B_{z01} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad D_z = D_{z0} = \begin{pmatrix} D_{z01} \\ D_{z02} \end{pmatrix} = \left(d_{z1}, d_{z2}, d_{z3}\right) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix};$$ элементы матрицы $\Delta A_z = \begin{pmatrix} \Delta A_{z1} \\ \Delta A_{z2} \end{pmatrix}$, $\Delta A_{z1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$,

$\Delta A_{z2} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \Delta a_{z33} & \Delta a_{z34} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$, с возмущениями в пределах $0{,}001 \le \Delta a_{z33} = \Delta n_{11} \le 0{,}001, \ -0{,}0004 \le \Delta a_{z34} = \Delta n_{14} \le 0{,}0004$.

Инвариантность скользящего режима системы (14) на некотором подвижном многообразии

$$S(s = (s_1, s_2)^T = C(t)z = 0) \tag{15}$$

по отношению к неопределенным параметрическим $\Delta a_{z33}(t)$, $\Delta a_{z34}(t)$ и внешним $\Delta f_1(t), \Delta f_2(t)$ возмущениям выполняется, а к возмущению $\Delta f_3(t)$ нет, так как

$$\Delta A_z = B_z \lambda_{\Delta A_z}, \quad \lambda_{\Delta A_z} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \Delta a_{z33} / b_{z310} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Delta a_{z34} / b_{z420} \end{pmatrix}, \quad d_{zi} = B_z \lambda_{\Delta f_i}, \quad i = 1,2, \tag{16}$$

а для $\Delta f_3(t)$ выполнить равенство $d_{z3} = B_z \lambda_{\Delta f_i}$ невозможно (так как в матрице B_z первая строка нулевая).

Для вывода уравнений скользящего режима и синтеза $2\times4-$матрицы $C(t)$ по заданному качеству переходного процесса в условиях невыполнения условий инвариантности представим систему (14) в виде

$$\dot{z} = (A_{z0} + \Delta A_z)z + B_{z0}u + d_{z1}\Delta f_1 + d_{z2}\Delta f_2 + h, \qquad (17)$$

где через вектор h обозначено произведение $d_{z3}\Delta f_3$ не удовлетворяющее условиям инвариантности вида (16): $h = d_{z3}\Delta f_3$. Применяя метод эквивалентного управления, означающий выражение управления из равенства нулю производной $\dot{s}$ в силу системы (17) ($\dot{s} = 0$ согласно движению фазовых траекторий по касательной к поверхностям скольжения) и после его подстановки в эту же систему, а также учета условий инвариантности (16), нулевой $2\times2-$ субматрицы B_{z01} в системе (14), разбиения $4\times1-$векторов z, $d_{z1}\Delta f_1$, $d_{z2}\Delta f_2$ и $h = d_{z3}\Delta f_3$ по два $2\times1-$субвектора $z^1 = (z_1, z_2)^T$, $z^2 = (z_3, z_4)^T$ и $d_{z1}\Delta f_1 = (0,0,\Delta f_1,0)^T$, $(d_{z1}\Delta f_1)^1 = (0,0)^T$, $(d_{z1}\Delta f_1)^2 = (\Delta f_1,0)^T$, $(d_{z2}\Delta f_2)^1 = (0,0)^T$, $(d_{z2}\Delta f_2)^2 = (0,\Delta f_2)^T$, $h^1(t) = d^1_{z3}\Delta f_3(t) = (\Delta f_3(t),0)^T$, $h^2(t) = d^2_{z3}\Delta f_3(t) = (0,0)^T$, и разбиения $2\times4-$матрицы $C(t)$ на две $2\times2-$ субматрицы $C^1(t)$ и $C^2 = E$, получаем после отбрасывания обращающихся в тождество последних 2-х уравнений, систему скользящего режима

$$\dot{z}^1 = A_{011}z^1 - A_{012}C^1(t)z^1 + h^1(t), \quad z^2 = -C^1(t)z^1. \qquad (18)$$

В данной системе $2\times2-$матрица A_{012} принимается за матрицу входа управления скольжения

$$u_c = -C^1(t)z^1. \qquad (19)$$

В случае отсутствия возмущений $h^1(t)$ в системе (18) $2\times2-$матрица C^1 многообразия скольжения S (15) принимается постоянной $C^1 = C^1_{const}$ и находится по заданному качеству переходных процессов методом модального управления. При действии неопределенных возмущений $h^1(t)$ матрицу $C^1(t)$ для системы (18) в управлении u_c (10) предлагается формировать в виде суммы

$$C^1(t) = C^1_{const} + C^1_{h^1}(t, z^1(t)), \qquad (20)$$

где $(2)\times(2)-$матрица $C^1_{h^1}(t, z^1(t))$ имеет выражение [8]

$$C^1_{h^1}(t, z^1(t)) = A^{-1}_{0z12}diag\{\kappa_1/|z_1|, \kappa_2/|z_2|\}, \quad \kappa_i > \max_t|h^1_i(t)|, \quad i = \overline{1,2}. \qquad (21)$$

Многообразие S (15), управление u_c (19) и система скользящего режима (18) преобразуются к виду:

$$S(s = C(t)z = C^1(t)z^1 + z^2 = (C^1_{const} + C^1_{h^1}(t, z^1(t)))z^1 + z^2 = C^1_{const}\ z^1 + A^{-1}_{0z12}(\kappa_1 sign\ z_1, \kappa_2 sign\ z_2)^T + z^2 = 0), \qquad (22)$$

$$u_c = -C^1z^1 = -(C^1_{const} + C^1_{h^1}(t, z^1(t)))\ z^1 = -(C^1_{const}\ z^1 + A^{-1}_{0z12}(\kappa_1 sign\ z_1, \kappa_2 sign\ z_2)^T), \qquad (23)$$

$$\dot{z}^1 = (A_{0z11} - A_{0z12}C^1_{const})z^1 + (h^1(t) - diag\{\kappa_1, \kappa_2\} sign\ z^1), \quad z^2 = -C^1(t)z^1, \qquad (24)$$

где $sign\ z^1 = (sign\ z_1, sign\ z_2)^T$, $diag\{\kappa_1, \kappa_2\}\ sign\ z^1 = (\kappa_1 sign\ z_1, \kappa_2 sign\ z_2)^T$ и составляющие вектора $(h^1(t) - diag\{\kappa_1, \kappa_2\} sign\ z^1) = (h_1(t) - \kappa_1 sign\ z_1,\ h_2(t) - \kappa_2 sign\ z_2)^T$ имеют знаки, доставляющие координатам дополнительные к действию матрицы C^1_{const} скорости их убывания по модулю. Управление скольжением u_c (23) преодолевает (превышает) действие вектора неопределенных $h^1(z^1, t)$ возмущений. С дальнейшим увеличением значений κ_i возникает скользящий режим на $(n-m) = 2-$мерном многообразии $z^1 = 0$ пересечения гиперплоскостей $z_1 = 0,\ z_2 = 0$.

Рассмотрим синтез управления, приводящего систему (14) в полученный скользящий режим (24). Представим производную $\dot{s}$ функции переключений $s = C(t)z$ (15) и управление в системе (14), (17) в виде сумм

$$\dot{s} = \dot{s}_0 + \dot{s}_{\Delta A_z} + \dot{s}_{\Delta f_{1,2}} + \dot{s}_h, \quad u = u_0 + u_{\Delta A_z} + u_{\Delta f_{1,2}} + u_h, \qquad (25)$$

в которых первые слагаемые соответствуют номинальным составляющим, а остальные при неопределенным. Для функции s (15), (22) и управления (25) получаем, с учетом $\Delta A_z z$, $d_{z1}\Delta f_1 = (0,0,\Delta f_1,0)^T$, $d_{z2}\Delta f_2 = (0,0,0,\Delta f_2)^T$, $h^1 = d_{z3}\Delta f_3 = (\Delta f_3,0,0,0)^T$ и $h^2(t) = d^2_{z3}\Delta f_3(t) = (0,0)^T$:

$$\dot s = C^1_{const}(A_{z011}z^1 + A_{z012}z^2 + h^1(t)) + A^{-1}_{z012}(\kappa_1 d(sign\ z_1)/dt, \kappa_2 d(sign\ z_2)/dt)^T + A_{z021}z^1 + A_{z022}z^2 + \\ + \Delta A_{z2} z + B_{z02}(u_0 + u_{\Delta A_z} + u_{\Delta f_{1,2}} + u_h) + D_{z02}\Delta f. \quad (26)$$

Очевидно, что слагаемые $\dot s_0$ и $\dot s_{\Delta A_z}, \dot s_{\Delta f_{1,2}}, \dot s_h$ в сумме (25), (26) имеют выражения:

$$\dot s_0 = C^1_{const}(A_{z011}z^1 + A_{z012}z^2) + A^{-1}_{z012}(\kappa_1 d(sign\ z_1)/dt, \kappa_2 d(sign\ z_2)/dt)^T + A_{z021}z^1 + A_{z022}z^2 + B_{z02}u_0,$$

$$\dot s_{\Delta A_z} = \Delta A_{z2} z + B_{z02} u_{\Delta A_z}, \quad \dot s_{\Delta f_{1,2}} = D_{z02}\Delta f + B_{z02} u_{\Delta f_{1,2}}, \quad \dot s_h = C^1_{const} h^1(t) + B_{z02} u_h.$$

Управление u_0 находится из необходимого условия равенства производной $\dot s_0$ выражению $\dot s_0 = K_g g + K_s s$ с диагональными матрицами K_g, K_s, аналогично найденному управлению (6):

$$u_0 = B^{-1}_{z02}[K_g g + K_s s - (C^1_{const}(A_{z011}z^1 + A_{z012}z^2) + A^{-1}_{z012}(\kappa_1 d(sign\ z_1)/dt, \kappa_2 d(sign\ z_2)/dt)^T + A_{z021}z^1 + A_{z022}z^2)], \quad (27)$$

где элементы матриц K_g, K_s находятся из условий (6), а производные $d(sign\ z_{1i})/dt, i = \overline{1,2,}$ аппроксимируются известными функциями [4].

Управления $u_{\Delta A_z}$ и $u_{\Delta f_{1,2}}$ находятся в сумме по методу, изложенному подробно для управления u_Δ (8) в координатах вектора x исходной системы (1).

Управление $u_h = (u_{h1}, u_{h2})^T$ находится по достаточным условиям попадания и.т. на гиперплоскости $S_1(s_1 = 0), S_2(s_2 = 0)$: $\dot s_{h_i} s_i < 0, i = \overline{1,2,}$ и задается в виде

$$u_h = (u_{h1}, u_{h2})^T = B^{-1}_{z02} u^*_h,\ u^*_h = (u^*_{h1}, u^*_{h2})^T;$$

$$\dot s_h = (\dot s_{h_1}, \dot s_{h_2})^T = C^1_{const} h^1 + B_{zo2} u_h,\ B_{zo2} u_h = u^*_h,\quad C^1_{const} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix},\quad h^1 = \begin{pmatrix} \Delta f_3 \\ 0 \end{pmatrix}, C^1_{const} h^1 = \begin{pmatrix} c_{11}\Delta f_3 \\ c_{21}\Delta f_3 \end{pmatrix},$$

$\dot s_{h_i} s_i < 0$, $(c_{i1}\Delta f_3 + u^*_{h_i}) s_i < 0, i = 1,2$; полагаем $u^*_{h_i} = c_{i1} k_i$; $(\Delta f_3 + u^*_{h_i}) c_{i1} s_i < 0$; при $c_{i1} s_i > 0$ задаем $k_i = k_i^+$,

$\Delta f_3(t) + k_i^+ < 0$, $k_i^+ < \min\limits_{\Delta f_3}(-\Delta f_3(t))$; при $c_{i1} s_i \le 0$ задаем $k_i = k_i^-$, $\Delta f_3(t) + k_i^- > 0$; $k_i^- > \max\limits_{\Delta f_3}(-\Delta f_3(t))$.

Качество процессов по координатам следующего из (22) субвектора z^2

$$z^2 = -(C^1_{const}\ z^1 + A^{-1}_{0z12}(\kappa_1 sign\ z_1, \kappa_2 sign\ z_2)^T)$$

предлагается повышать аппроксимацией сигнатур в (22) и далее непрерывными функциями

$$f_i(z_i) = 1 \text{ при } z_i > b_i, \quad f_i(z_i) = -1 \text{ при } z_i < -b_i, \quad f_i(z_i) = (1/b_i) z_i \text{ при } b_i \ge z_i \ge -b_i.$$

Представленные методы и алгоритмы регулирования установившихся колебаний и уменьшения энергетических затрат управления применимы и при невыполнении условий инвариантности.

Выводы. Представлены методы управления продольным движением КЛА, трансформируемых из одноосной компоновки в двухосную пакетную, в атмосфере при выполнении условий инвариантности скользящих режимов к неопределенным ограниченным параметрическим возмущениям и получен новый метод стабилизации при невыполнении условий инвариантности к части таких возмущений. Представлены методы регулирования параметров колебаний управления, устраняющие их возможные неблагоприятные воздействия на звенья системы управления, а также методы существенного уменьшения энергетических затрат на управление.

Публикация осуществлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00809 мол_а

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мещанов А.С., Туктаров Э.А., Богданов С.О., Калимуллин Р.Ф.* Метод стабилизации продольных движений космических летательных аппаратов в атмосфере при невыполнении

условий инвариантности к возмущениям. «Вестник технологического университета». Казань, КНИТУ, том.20, №20, 2017, С.84-90.

2. *Боднер В. А.* Теория автоматического управления полетом. М.: Наука, 1964. - 700 с.

3. *Мещанов А.С.* Методы построения разрывных управлений и поверхностей переключения в многомерных системах. Известия вузов. Авиационная техника, 1981, № 2, с.39-44.

4. *Г. Корн, Т. Корн.* Справочник по математике. Для научных работников и инженеров. М., Наука, 1973 г. 832 с.

TO LONGITUDINAL STABILIZATION OF SPACE FLYING DEVICES IN THE ATMOSPHERE AT PERTURBATIONS

Bogdanov Stanislav

mrc.bogdanov@yandex.ru

Supervisor: Arsen Meshchanov, Ph.D., Senior researcher.

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

We consider the space aircraft (CLA) - module, the third stage of the reusable space transport system (MCTS), in longitudinal motion during landing in the atmosphere. The aerodynamic forms of such modules in a biaxial arrangement are close to the aircraft and in the presence of steering rocket engines (RRD), providing angular movements in all three corners of the Euler, allow the use of speed (150 and more m/s), retained by the modules after the descent from orbit and effective braking in the atmosphere in a uniaxial arrangement for a stable flight towards the landing site (or splashdown). Presents administration, governing under the given quality indices of transient processes and the parameters of its steady-state oscillation, as well as providing a significant reduction and minimization of energy costs.

УДК 681.51.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ВЕРТОЛЕТОМ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ С ПРОГНОЗИРУЮЩИМИ МОДЕЛЯМИ

Валиева С.П., Ступницкий П.П.

valieva.svetlana@gmail.com, pstupnitski@gmail.com

Научный руководитель: А.А. Маханько, к.т.н, доцент

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

Аннотация: в данной работе рассмотрена реализация управления с прогнозирующими моделями для следования по заданной траектории, используемой для беспилотной модели вертолета. Для решения данного исследования был описан метод отслеживания траектории (trajectory-tracking) с использованием алгоритма оптимизации на основе управления с прогнозирующими моделями.

Введение

В последние годы наблюдается значительный рост исследований, посвященных изучению малых беспилотных вертолетов. Одной из основных задач автоматического управления беспилотным летательным аппаратом является полет по заданному пути. Задача состоит в том, чтобы спроектировать регулятор таким образом, чтобы БЛА следовал по желаемой траектории как можно ближе.

Целью данной работы является реализация метода управления беспилотного вертолета на основе регулятора с прогнозирующими моделями для решения задачи движения по заданной траектории, которая называется *отслеживанием траектории(trajectory-tracking)*.

Данная работа состоит из 5 разделов. В первом разделе описывается динамика системы малого беспилотного вертолета. Рассмотренная системная модель используется во втором разделе для проектирования управления с прогнозирующими моделями. Также, представлено описание задачи следования по заданной траектории с использованием метода отслеживания траектории. В третьем разделе представлена информация о реализации

системы управления методом отслеживания траектории. В четвёртом разделе показаны результаты моделирования данной работы. Пятый раздел содержит выводы данной работы.

1. Описание системы

Модель пространственного пространства линейного состояния описывает динамику вертолета как центр масс вертолета в трехмерном пространстве. Кроме того, линейная модель не имеет вращательных степеней свободы. Поэтому система описывает только управление положением, а управление ориентацией в пространстве не рассматривается.

Динамика системы, описывающая вертолет, взята из [1]. Модель пространства состояний для одного координатного направления состоит из пяти переменных состояния.

$$\lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \end{pmatrix}, \tag{1.1}$$

где λ_1 соответствует положению вертолета, λ_2 соответствует скорости вертолета, λ_3 соответствует ускорению вертолета, λ_4 и λ_5 соответствуют рывку вертолета и его производной по времени. Первые четыре состояния $\lambda_1 \dots \lambda_4$ описаны через интегральную составляющую, тогда как λ_5 содержит динамику, которая оказывает влияние на вход u_h.

Таблица 1.1

Направление	Параметры		
	D	ω	c
X	1,5	4	0,5
Y	1,5	4	0,5
Z	1,1	10,5	1,3

Параметры вертолета для определения коэффициентов в динамике системы (1.2)

Это приводит к следующей динамике системы:

$$\dot{\lambda} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -cb & a_0 & a_1 & a_2 \end{bmatrix}}_{A_h} \cdot \lambda + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ cb \end{pmatrix}}_{b_h} \cdot u_h, \tag{1.2}$$

где A_h является системной матрицей и b_h является управляющим вектором. Элементы матрицы и вектора задаются следующими уравнениями

$a_0 = -2 \cdot \omega^3$

$a_1 = -4 \cdot D\omega^2 - \omega^2$

$a_2 = -2D \cdot \omega - 2\omega$

$b = 2\omega^3$

где параметры c, ω, D являются усилителем, затуханием и частотой, соответственно. Значения параметров представлены в Таблице 1.1.

Для построения полной непрерывной линейной системы, необходимо объединить динамические модели для каждого пространственного направления. Это может быть получено следующим образом:

$$\begin{pmatrix} \dot{\underline{x}} \\ \dot{\underline{y}} \\ \dot{\underline{z}} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} A_x & 0 & 0 \\ 0 & A_y & 0 \\ 0 & 0 & A_z \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{x} \\ \underline{y} \\ \underline{z} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} b_x & 0 & 0 \\ 0 & b_y & 0 \\ 0 & 0 & b_z \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{pmatrix}, \tag{1.3}$$

где динамика вертолета описана в трехмерном пространстве для каждого направления. Эта модель используется в управлении с прогнозирующими моделями (Раздел 2).

1.2 Ограничения

В данной работе были использованы следующие ограничения. Положение вертолета учитывает полет по заданной траектории в пределах до 100 метров:

$$-100\ \text{м} \leq \lambda_1 \leq 100\ \text{м} \tag{1.4}$$

с $\lambda_1 = \{x_1, y_1, z_1\}$.

Поскольку двигатель ограничен в мощности, скорость вертолета также ограничена

$$\lambda_2 \leq 14 \frac{\text{м}}{c} = V_{H_i max},$$

(1.5)

где $V_{H_i max}$—максимальная скорость вертолета, $\lambda_2 = \{x_2, y_2, z_2\}$представляет скорости вертолета в каждом направлении.

Входные переменные u_h , заданные в каждом направлении координат, классифицируются как заданные скорости. Следовательно, ограничения входных переменных

$$\begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{pmatrix} \leq V_{H_i max}. \tag{1.6}$$

2. Управление с прогнозирующими моделями

В данном разделе описывается управление с прогнозирующими моделями (Model Predictive Control(MPC)) и, в частности, рассматривается линейное управление. Кроме того, в этой главе описывается MPC для задач отслеживания траектории. Общей задачей данного управления является то, чтобы свести к минимуму расстояния желаемых состояний системы с точками желаемой траектории.

2.1 Линейное MPC для дискретных систем

MPC основано на повторении решения задачи оптимального управления с учетом состояний и ограничений ввода и динамики системы. Идеей данного управления заключается в использовании модели системы для прогнозирования и оптимизации будущего поведения системы.

Целевая функция, зависящая от состояния, управляющего сигнала и горизонта предсказаний N_p задается формулой

$$J\left(\chi(k),\, u(\cdot)\right) = \sum_{i=0}^{N_p} F\left(\chi(k+i), u(k+i)\right) + E\left(\chi\left(k+N_p\right)\right),$$

(2.1)

где $\chi(k)$ состоит из состояний в трех пространственных направлениях {x (k), y (k), z (k)}. Состояние системы зависит от измеренных состояний и применяемых входов и задается в виде линейной дискретной динамики

$$\chi(k+1) = A\chi(k) + Bu(k), \tag{2.2}$$

где $\chi(k)$ и $u(k)$ обозначают измеренные координаты состояния и оптимальный управляющий вход в дискретное время k. Измерения производятся с каждым шагом дискретизации $t = kT_s$ с постоянным временем дискретизации T_s, а состояния и входы должны удовлетворять ограничениям. Можно установить целевую функцию, которая должна быть минимизирована, если задача оптимального управления (Optimal Control Problem(OCP)) выражается линейной системой и линейными ограничениями. Она может быть определена следующим образом:

$$\underset{\chi(k),u(k)}{\text{minimize}} \quad \frac{1}{2}\sum_{k=0}^{N_p-1}\left(\chi_k^T Q \chi_k + u_k^T R u_k\right) + \frac{1}{2}\chi_N^T Q \chi_N \tag{2.3a}$$

$$\text{subject to} \quad \chi(k+1) = A\chi(k) + Bu(k),\ \chi(0) = \chi_0,$$

(2.3b)

$$u^{min} \leq u_k \leq u^{max}, \tag{2.3c}$$

$$\chi^{min} \leq \chi_k \leq \chi^{max},$$

(2.3d)

где Q и R – весовые матрицы, где $\chi(k)$ и $u(k)$ — состояния и входы, выражения (2.3b) - (2.3d) описывают начальное состояние системы, динамику системы и ограничения на управляющие входы и состояния, соответственно. Этот тип оптимизации называется квадратичным программированием (Quadratic Programming(QP)). Стандартная форма квадратичной программы определяется как [2]

$$\begin{aligned} \underset{\rho}{\text{minimize}} \quad & \frac{1}{2}\rho^T H\rho + f^T\rho \\ \text{subject to} \quad & A\cdot\rho = b, \\ & A\cdot\rho \le b, \\ & lb \le \rho_k \le ub, \end{aligned} \tag{2.4}$$

где H - симметричная матрица $n \times n$, представляющая квадратичный член, f - вектор с n элементами, который обозначает линейный член, p - вектор с переменными состояния и управляющими переменными, A и b - матрица с линейными коэффициентами и постоянным вектором соответственно. lb и ub - нижняя и верхняя границы вектора p. Матрица H должна быть положительно полуопределенной, чтобы быть выпуклой задачей. В этой работе линейная система (2.3b) квадратичного программирования рассматривается как часть ограничений равенства с граничными условиями.

2.2 Управление с прогнозирующими моделями для отслеживания траектории

Задача управления заключается в том, чтобы следовать некоторой желаемой траектории. Одним из подходов к решению этой проблемы является отслеживание траектории, где траектория определяется как изменяющиеся во времени или контрольные точки *r(t)*

$$R = \left\{\underline{r}(t) \in \mathbb{R}^n : t \in [0;\infty) \to \underline{r}(t)\right\}. \tag{2.5}$$

Используя данный метод, разность (ошибка) между соответствующими состояниями системы и точками желаемой траектории должна быть минимизирована регулятором [3,4]. Кроме того, состояния системы и управляющие входы должны удовлетворять ограничениям. С динамической системой (2.2), ошибка управления задачи отслеживания траектории определяется следующим образом [4, 5]:

$$e_{tr}(t) = \left(\chi(t) - \underline{r}(t)\right), \tag{2.6}$$

где $\chi(t)$ и $\underline{r}(t)$ обозначают состояния системы и желаемую траекторию в момент времени *t*.

Рассматриваемая задача может быть преобразована в стабилизацию заданной точки. Это определяется как сходимость ошибки управления e_{tr} и выражается в следующем виде

$$lim_{t\to\infty}\, e_{tr}(t) = lim_{t\to\infty}\left(\chi(t) - \underline{r}(t)\right) = 0, \tag{2.7}$$

что соответствует сходимости положения вертолета в момент времени *t* до точки на желаемой траектории в то же самое время.

Целевой функционал должен быть минимизирован для решения этой задачи оптимального управления (OCP), для этого функция должна быть выпуклой и квадратной. В данной работе задача оптимального управления имеет следующий вид:

$$F(\cdot) = \left\|\chi(k+i) - \underline{r}(k+i)\right\|_Q^2 + \|u(k+i)\|_R^2, \tag{2.8}$$

где Q и R — весовые матрицы.

3. Реализация управления с прогнозирующими моделями, используя метод отслеживания траектории

Согласно методу отслеживания траектории, система должна следовать за множеством точек, включенных в траекторию в определенное время. Это означает, что траектория выбрана как функция времени и сформулирована для каждого пространственного направления как

$$\underline{r(t)} = \begin{pmatrix} r_x(t) \\ r_y(t) \\ r_z(t) \end{pmatrix}. \quad (3.1)$$

Исходя из этого, задача оптимального управления определяется квадратичной целевой функцией(2.3а) без части Майера. В целевой функции отклонения траектории вычисляются в каждом пространственном направлении, тоже самое для управляющих переменных, и из (2.8) следует

$$F(\cdot) = \left\| \begin{pmatrix} e_x \\ e_y \\ e_z \end{pmatrix} \right\|_Q^2 + \left\| \begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{pmatrix} \right\|_R^2, \quad (3.2)$$

где $e_{x,y,z}$ — отклонение траектории в каждом пространственном направлении, и это обусловлено различием между состоянием положения (λ_1из уравнения 1.1) и заданными точками траектории $r_{x,y,z}(t)$

$$\underline{e_{tr}} = \begin{pmatrix} e_{tr,x}(t) \\ e_{tr,y}(t) \\ e_{tr,z}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ y_1(t) \\ z_1(t) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} r_x(t) \\ r_y(t) \\ r_z(t) \end{pmatrix}. \quad (3.3)$$

Весовые матрицы Q и R определены на всех шагах прогнозирования и представлены в пятом разделе. Квадратичная целевая функция определяется следующим образом:

$$\min_{\underline{u}} \sum_{t=0}^{N_p} \left\| \left(\underline{e_{tr}}\right) \right\|_Q^2 + \left\| \left(\underline{u}\right) \right\|_R^2, \quad (3.4)$$

где данная целевая функция зависит от

$$\underline{e_{tr}}(k) = C_1 \chi(k) - \underline{r}(k), \quad (3.5)$$

$$\chi(k+1) = \boldsymbol{A}\chi(k) + \boldsymbol{B}u(k), \quad (3.6)$$

где $C_1 = \begin{bmatrix} 1 & \underline{0}^T & \underline{0}^T \\ \underline{0}^T & 1 & \underline{0}^T \\ \underline{0}^T & \underline{0}^T & 1 \end{bmatrix}$ — матрица вывода.

Принимая во внимание вышеизложенное и определение (2.3а), целевая функция задачи отслеживания траектории может быть определена следующим образом:

$$F(\cdot) = \frac{1}{2}\sum_{k=0}^{N_p-1} ((C_1\chi_k - r_k)^T Q(C_1\chi_k - r_k) + u_k^T R u_k), \quad (3.7)$$

где управляющая часть u_k определяется для каждого шага дискретизации, чтобы оптимизировать состояние $C_1\chi_k$ для достижения желаемой траектории r_k, Q и R — настраивающие матрицы.

Задача оптимизации (3.7) является квадратичное программирование и должна быть преобразована в стандартную форму (2.4). Для хорошей реализации управления с прогнозирующими моделями для решения в Matlab требуется выразить данную проблему в стандартной форме, чтобы получить оптимальное решение. Для этого нужно определить матрицы H и f. Открывая скобки выражения (3.7), уравнение преобразуется как:

$$\frac{1}{2}\sum_{k=0}^{N_p-1} (C1\chi_k^T QC1\chi_k - C1\chi_k^T Q r_k - r_k^T QC1\chi_k + r_k^T Q r_k + u_k^T R u_k). \quad (3.8)$$

Из выражения (3.8) матрицы *H* и *f* определяются следующим образом:

$$H = \begin{pmatrix} Q & & & & \\ & \ddots & & & \\ & & Q & & \\ & & & R & \\ & & & & \ddots \\ & & & & & R \end{pmatrix},$$

(3.9)

$$f = \left(Q \cdot r_{k_1} \ \dots \ Q \cdot r_{k_n}, 0 \dots 0\right).$$

(3.10)

4. Результаты моделирования

Моделирование было реализовано в соответствии с описанным методом с использованием программного обеспечения Matlab, где для решения проблемы квадратичного программирования использовался инструмент quadprog.

Вертолет должен следовать по траектории и находиться в указанной точке этой траектории в определенное время. Движение вертолета вдоль траектории начинается в начальной точке $\chi_0 = \chi(t = 0)$ кривой. Весовые матрицы Q и R определяются при

$$Q = \begin{bmatrix} 10 & \underline{0}^T & \underline{0}^T \\ \underline{0}^T & 10 & \underline{0}^T \\ \underline{0}^T & \underline{0}^T & 10 \end{bmatrix}, \quad (4.1)$$

$$R = \begin{bmatrix} 0{,}01 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}01 & 0 \\ 0 & 0 & 0{,}01 \end{bmatrix}, \quad (4.2)$$

которые определялись во время расчетов и моделирования. Переменные матрицы Q больше, чем переменные матрицы R, потому что мы должны стабилизировать состояния системы и избегать больших значений управляющих сигналов. Моделирование полета длится 8,5 секунд, и его время рассчитывается как умножение времени дискретизации T_s= 0,05 секунд на число итераций *k* = 170. Горизонт прогнозирования N_p равен 20. На *Рисунке 4.1* показан полет вертолета вдоль предопределенной во времени траектории.

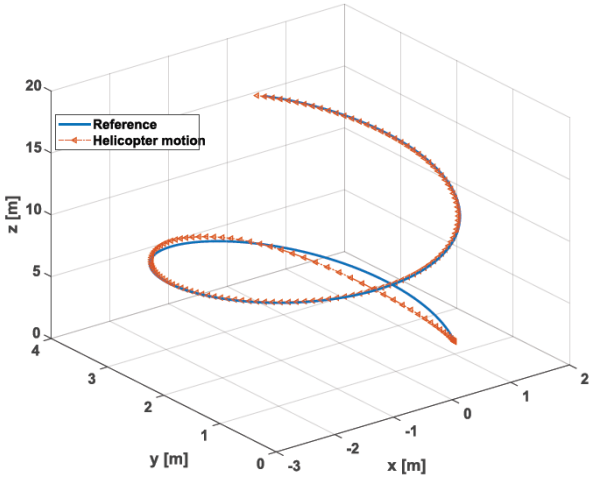


Рисунок 4.1 Отклонение траектории полета вертолёта от заданной

Регулятор обеспечивает качественное отслеживание кривой. Отклонение полета вертолета от заданной траектории. Значения погрешности вдоль осей x, y- и z составляют 20,

80 и 80 см, соответственно. Значительное несоответствие присутствует в начале моделирования из-за начальной скорости. Для того чтобы уменьшить начальное отклонение, это параметр должен быть изменен.

5. Заключение

Одним из методов для следования по заданной траектории является отслеживание траектории, которое имеет идею отслеживания траектории с заранее заданным временем.

Данный метод показывает неплохую точность. Отклонение положения вертолета от заданной траектории составляет 10 см, что составляет примерно 5 процентов от ошибки. Кроме того, скорости и ускорения соответствуют требованиям. Следует заметить, что временная зависимость жестко связывает положение вертолета с траекторией (вертолет должен находиться в определенной точке в определенное время). Вследствие этого подход отслеживания траекторий является весьма неудобным. Тем не менее, отслеживание траектории более подходит для решения проблемы, когда время имеет решающее значение.

В будущих работах предполагается улучшение задачи следования по заданной траектории. Для повышения точности следования, может быть использован другой метод, который называется следование по пути.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *T. Bäthge*. Echtzeitfähige, optimierungsbasierte Pfadverfolgung für einen unbemannten Helikopter. Master’s thesis, Institute of Systems Theory and Automatic Control, The Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Otto-von- Guericke-Universität Magdeburg, 2011.

2. *T. Faulwasser, B. Kern, and R. Findeisen*. Model Predictive Path-Following for Constrained Nonlinear Systems. Proc. 48th 50 Bibliography IEEE Conf. on Decision and Control, CDC/CCC 2009, 8642-8647,2009.

3. *M. H. Arbo, E. I. Grøtliy, and J. T. Gravdahl.* On Model Predictive Path Following and Trajectory Tracking for Industrial Robots. https://arxiv.org/abs/1703.02279v1, 2017.

4. *T. Faulwasser.* Optimization-based Solutions to Constrained Trajectory-tracking and Path-following Problems. candthesis, The Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Otto-von Guericke-Universität Magdeburg, 2012.

5. *T. Faulwasser and R. Findeisen.* A Model Predictive Control Approach to Trajectory Tracking Problems via Time-Varying Level Sets of Lyapunov Functions. European Control Conference (CDC-ECC), p. 3381-3386, 2011.

TRAJECTORY TRACKING FOR CONTROL SYSTEM OF UNMANNED HELICOPTER

Valieva Svetlana, Stupnitskii Pavel

valieva.svetlana@gmail.com, pstupnitski@gmail.com

Supervisor: Andrei Makhanko, Doctor of Science and Associate Professor

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

Abstract: This paper describes the implementation of control with predictive models for following a given trajectory used for the unmanned helicopter model. To solve this problem, a trajectory-tracking method was described using a control-based optimization algorithm with predictive models.

УДК 531.383

СТЕНДОВАЯ КАЛИБРОВКА БЛОКА МЭМС ДАТЧИКОВ

Васянов В.В.
vasyanov21@yandex.ru
Научный руководитель: А.А. Потапов, к.т.н., доцент
Казанский научно-исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань

Рассмотрены способы калибровки малогабаритных датчиков угловой скорости на трехосевом калибровочном стенде. Разработана имитационная модель калибровки на основе рекурсивного метода наименьших квадратов. Получены рекомендации по минимизации погрешности оценки калибровочных параметров.

Современная техника не стоит на месте, поэтому ставятся жесткие рамки по точности определения измеряемых параметров, а также возникает необходимость уменьшения времени калибровки [1, 2]. Для оператора калибровки удобнее и легче при калибровке датчиков, если он будет минимально участвовать в процессе калибровки. На рис.1. представлена блок-схема стенда, содержащая устройство управления ориентацией блока датчиков и обработки измеренной информации.

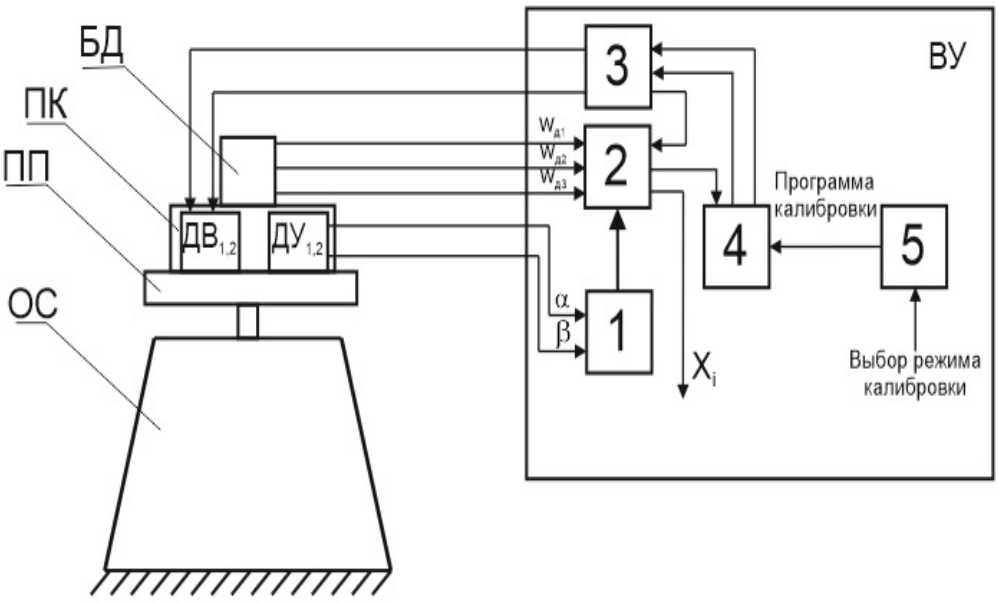


Рис.1. Блок-схема калибровочного стенда

Здесь 1– аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 2 – блок алгоритмов калибровки (БАК); 3 – блоки управления двигателей наружных и внутренних рам ПК (БУ); 4 – блок алгоритмов управления (БАУ); 5 – блок программ калибровки (БПК); БД – блок ДУС-ов, ПК – платформа калибровки ПП – поворотная площадка, ОС – одноосный стенд, ВУ – вычислительное устройство, ДВ 1, 2 – двигатели поворота наружных и внутренних рам, ДУ 1, 2 – датчики угла, α_i, β_i, – углы поворота платформы $\forall i \in \overline{1,N}$;

Связь между используемыми системами координат представим в виде:

$$X_g Y_g Z_g \frac{(2)\mathbf{C}_{\mathbf{c,g}}}{u} X_c Y_c Z_c \frac{(13)\mathbf{C}_{\mathbf{n,c}}}{\alpha_i, \beta_i} X_n Y_n Z_n$$

Рис.2. Связь между системами координат

Тогда проекции угловой скорости на входные оси датчиков в зависимости от углов поворота платформы стенда имеют вид:

$$\boldsymbol{\omega}_{\text{дi}} = \mathbf{U}_{\text{дi}} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\alpha}_i \cdot \cos\beta_i + \dot{u} \cdot \cos\alpha_i \cdot \sin\beta_i \\ \dot{u} \cdot \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i - \dot{\alpha}_i \cdot \sin\beta_i \\ \dot{u} \cdot \sin\alpha_i + \dot{\beta}_i \end{bmatrix}.$$

При использовании ступенчатого метода калибровки необходимо установить блок ДУС на платформу стенда и запустить ступенчатое изменение ориентации блока датчиков. Данный метод подходит для калибровки блока ДУС, если время переходного процесса значительно меньше интервала времени изменения ступени. Обычно этому соответствуют электромеханические ДУС с частотой собственных недемпфированных колебаний не меньше $\omega_0 = 50\,Гц$.

Для блоков ДУС, состоящих из МЭМС ДУС-ов применим динамический метод калибровки, основанный на рекурсивном методе наименьших квадратов [3]. Исходные уравнения представим в виде:

$\mathbf{U}_{\text{выхN}} = \mathbf{A}_{\mathbf{i}} \cdot \mathbf{X}_{\mathbf{i}} + \upsilon.$

Где $\mathbf{A}_{\mathbf{i}} = \begin{bmatrix} p_i & q_i & r_i & 1 \end{bmatrix}$ – матрица проекций абсолютной угловой скорости i-ого ДУС-а на оси его системы координат.

$\mathbf{X}_{\mathbf{i}} = \begin{bmatrix} \varepsilon_i & k_{i2} & k_{i3} & \Delta_i \end{bmatrix}^T$ – матрица определяемых параметров (погрешностей) i-ого ДУС-а.

Серию замеров представим в виде: $\mathbf{U}_{\text{вых}\Sigma} = \mathbf{A}_{\Sigma} \cdot \mathbf{X}_{\mathbf{i}}$. (1)

Здесь $\mathbf{U}_{\text{вых}\Sigma} = \begin{bmatrix} \mathbf{U}_{\text{вых1}}(\mathrm{t}_1) & \mathbf{U}_{\text{вых2}}(\mathrm{t}_2) & \ldots & \mathbf{U}_{\text{выхN}}(\mathrm{t}_N) \end{bmatrix}^T$ – матрица, измерений $1...N$ показаний датчиков, где N – количество замеров установленных оператором в процессе калибровки.

Где $\mathbf{A}_{\Sigma} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1(t_1) & \mathbf{A}_2(t_2) & \ldots & \mathbf{A}_{\mathbf{N}}(t_N) \end{bmatrix}^T$ – матрица, снятых $1...N$ проекций тестовой угловой скорости.

Искомая матрица $\mathbf{X}_{\mathbf{i}}$ с размерностью 4x1 для i-ого ДУС-а находится по алгоритму [3]:

Матрица (1) умножается на $\mathbf{A}_{\Sigma}^{\mathbf{T}}$ и далее выражаем $\mathbf{X}_{\mathbf{i}}$:

$\mathbf{X}_{\mathbf{i}} = (\mathbf{A}_{\Sigma}^{\mathbf{T}} \cdot \mathbf{A}_{\Sigma})^{-1} \mathbf{A}_{\Sigma}^{\mathbf{T}} \cdot \mathbf{U}_{\text{вых}\Sigma}$.

Преимуществом выбранного метода является то, что в ходе каждой итерации вычисляется дисперсия оценки калибруемых параметров.

На основе разработанной имитационной модели калибровки (на базе мат. пакета MatLab) проведены следующие исследования: выбраны рациональные значения "шагов" углов платформы стенда и количество его полных оборотов, обеспечивающих оценку калибровочных параметров с погрешностью не хуже заданного 1 %, определена зависимость количества замеров от величины "углового шага" от заданной погрешности оценки калибровочных параметров.

Выводы

1. Рассмотрены два способа калибровки блока датчиков угловой скорости на трехстепенном стенде.
2. Построен алгоритм определения калибровочных параметров на основе имитационной модели с рекурсивным методом наименьших квадратов.
3. Проведены исследования по выбору рациональных параметров работы стенда. В частности получены зависимости погрешности оценки калибровочных параметров от "углового шага" и количества этих шагов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Калихман Д.М*. Прецизионные управляемы стенды для динамических испытаний гироскопических приборов / Под общ. ред. акад. В.Г. Пешехонова – СПб.:ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2008 – 296с. микромеханических инерциальных модулей: автореф. дисс. канд. техн. наук / СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб, 2011

2. *Седышев Вячеслав Викторович, Тепляков Роман Викторович, Цапов Владимир Александрович*. Одноосный испытательный стенд углового движения // наука, техника и образование. Электронный ресурс - http://cyberleninka.ru/article/n/odnoosnyy-ispytatelnyy-stend-uglovogodvizheniya (дата обращения: 18.03.2018).

3. *П. Эйкхофф*. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния. М.: МИР, 1975. 683 с.

BENCH CALIBRATION UNIT MEMS SENSORS

Vasyanov V. V.

vasyanov21@yandex.ru

Supervisor: A. A. Potapov, Ph. D., associate Professor

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

The methods of calibration of small-size angular velocity sensors on a three-axis calibration stand are considered. A simulation model of calibration based on the recursive least squares method is developed. Recommendations on minimization of error of estimation of calibration parameters are received.

УДК 004.896

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССА КЛАССИФИКАЦИИ ОБРАЗОВ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Габитов А.А., Гусев Р.

arthur.gabitov@fanuc.eu, anna_vik@mail.ru

Научный руководитель Каляшина А.В., к.т.н., доцент

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

Роботы-манипуляторы активно развиваются в промышленной сфере. Но есть вопросы, которые были актуальны с самого зарождения робототехники, и остаются актуальными по сей день. В данной статье рассмотрен вопрос классификация объектов, полученных сканированием на основе нейронных сетей. Подробно рассмотрено понятие «сверточная нейронная сеть» и глубокое обучение. Что необходимо для правильного обучения нейросети, и как подготовить для нее необходимые данные. Как создавалась своя модель нейронной сети, после обучения которой у робота появилась возможность распознавать объекты аналогично человеку. А также результаты работы этой сети и ее процент ошибки.

Введение

Цель данного исследования изучить методику получения изображений объектов сканирования и применить ее в системе распознавания образов и классификации объектов роботом с применением нейронной сети.

Нейронные сети в робототехнике - это перспективное направление, имеющее большой научный потенциал и новизну. При их использовании у робота появилась очень важная особенность – способность к самообучению. При правильной реализации робот может быстро и точно распознавать и классифицировать объекты. Но при этом есть важный момент – получение и подготовка изображений, полученных путем сканирования системой технического зрения, установленной на роботе. Полученные изображения будут входными объектами для обучения и дальнейшей работы нейронной сети. [1,4]

Методика получения изображений

После того как объект отсканирован, необходимо выполнить оптические преобразования в результате которых реализуется проекция точек из трехмерного реального пространства (3D объекты) на плоскость (2D изображения). Оптические преобразования выполняют самую важную роль при захвате изображения, так как они главное звено в определении способа визуализации объектов пространства.

Координаты точек трехмерного пространства, которые были спроецированы на плоскость определяются из соотношений: [2]

$$x = \frac{\lambda X}{\lambda - Z} \quad (1)$$

и

$$y = \frac{\lambda Y}{\lambda - Z} . (2)$$

Уравнения (1) и (2) содержат операцию деления на переменную Z, значит, они являются нелинейными. В предоставленном виде пользоваться ими тоже можно, однако матричная форма записи будет выглядеть гораздо удобнее. Матричную форму записи получают путем преобразования с помощью однородных координат.

Координаты любой точки в декартовой форме [3,6] имеют связь с системой координат камеры (3):

$$c = \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\lambda x}{\lambda - z} \\ \frac{\lambda y}{\lambda - z} \\ \frac{\lambda z}{\lambda - z} \end{vmatrix}. \qquad (3)$$

Здесь λ - передаточный коэффициент

По двумерному изображению можно восстановить трехмерную область с помощью обратного оптического преобразования:

$$w_h = p^{-1} C_h \quad (4)$$

Где P^{-1} имеет вид

$$P^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\lambda} & 1 \end{bmatrix}. \qquad (5)$$

Таким образом, для полноценного восстановления точки в трехмерном пространстве, используется метод обратного оптического преобразования, при этом необходима информация как минимум одной координаты точки в декартовой форме. [4]

Необходимо учесть, что уравнения, которые описывают проекцию точки из трехмерной сцены на двумерную плоскость изображения выведены с допущением, что система координат камеры совпадает с декартовой системой координат. Для более удобной работы две эти системы необходимо разделить.

Метод получения системы координат камеры основывается на совмещении системы координат камеры и декартовой системы координат при помощи различных преобразований. Выполнив это действие, для построения проекции точки трехмерного пространства на плоскость изображения можно легко применять оптическое преобразование, сформулированное. Иначе говоря, перед тем, как применять оптическое преобразование, задачу нужно свести к геометрической системе. [4]

Калибровка камеры

Для получения изображений необходимо знать фокусное расстояние, вектор перемещения, угол поворота и угол наклона камеры. Конечно, эти данные можно получить, просто измерив их, но это не всегда является удобным. Например, при многократном перемещении камеры требуемые данные гораздо удобнее рассчитывать с помощью самой камеры, воспользовавшись ей, как измерительным прибором. Но для этого необходимо знать декартовые координаты нескольких точек. *Калибровка камеры* – это и есть процесс вычисления координат. Этот процесс состоит из следующих этапов [5]:

1. Необходимо найти $m \geq 6$ точек пространства, координаты которых заданы (X_i, Y_i, Z_i), $i = 1, 2, \ldots, m$. Число 6 является определяющим, так как оно позволит решить систему линейных дифференциальных уравнений, а при этом необходимо знать как минимум 6 координат точек.

2. Второй этап- с помощью камеры получить изображения точек (x_i, y_i), $i = 1, 2, \ldots, m$.

3. Решить систему линейных дифференциальных уравнений и получить неизвестные нам до этого параметры камеры – фокусное расстояние, вектор перемещения, угол поворота и угол наклона камеры.

Обработка изображений

При распознавании изображений используются технологии искусственного интеллекта для автоматической идентификации объектов, людей, мест и действий на изображениях. Наиболее эффективный инструмент для распознавания изображений - это глубокая нейронная сеть в частности, сверточная нейронная сеть. Сверточная нейронная сеть – это архитектура, разработанная для эффективной обработки, корреляции и понимания большого количества данных в изображениях с высоким разрешением. [6,7]

Человеческий глаз видит изображение как набор сигналов, интерпретируемых зрительной корой головного мозга. Результатом является переживание сцены, связанной с объектами и концепциями, которые сохраняются в памяти. Распознавание изображений имитирует этот процесс. Компьютеры «видят» изображение как набор векторов (многоугольники с цветовой аннотацией) или растр (холст пикселей с дискретными числовыми значениями для цветов). В процессе распознавания изображений векторное или растровое кодирование изображения превращается в конструкции, которые изображают физические объекты и признаки. Системы компьютерного зрения могут логически анализировать эти конструкции, сначала упрощая изображения и извлекая наиболее важную информацию, а затем организуя данные посредством выделения и классификации признаков.

Модели нейронной сети для распознавания изображений зависят от качества набора данных - изображений, используемых для обучения и тестирования модели. Вот несколько важных параметров и соображений для подготовки данных изображения [7]:

- *Размер изображения* - изображение более высокого качества дает модели больше информации, но требует большего количества узлов нейронной сети и большей вычислительной мощности для обработки.
- *Количество изображений* - чем больше данных вы подаете в модель, тем точнее они будут, но убедитесь, что обучающий набор представляет реальное население.
- *Количество каналов* - изображение в градациях серого имеет 2 канала (черно-белое), а цветные изображения обычно имеют 3 цветовых канала (красный, зеленый, синий / RGB) с цветами, представленными в диапазоне [0,255].
- *Соотношение сторон* - убедитесь, что изображения имеют одинаковое соотношение сторон и размер. Как правило, модели нейронной сети предполагают входное изображение квадратной формы.
- *Масштабирование изображения* - как только все изображения возведены в квадрат, вы можете масштабировать каждое изображение. Существует множество методов увеличения и уменьшения масштаба, которые доступны в виде функций в библиотеках глубокого обучения.

- *Среднее, стандартное отклонение входных данных* - вы можете посмотреть на «среднее изображение», рассчитав средние значения для каждого пикселя во всех обучающих примерах, чтобы получить информацию о базовой структуре на изображениях.
- *Нормализация входных изображений* - гарантирует, что все входные параметры (в данном случае пиксели) имеют равномерное распределение данных. Это ускоряет конвергенцию при обучении сети. Вы можете провести нормализацию данных, вычтя среднее значение из каждого пикселя, а затем разделив результат на стандартное отклонение.
- *Уменьшение размерности* - вы можете решить свернуть каналы RGB в канал серой шкалы. Возможно, вы захотите уменьшить другие измерения, если намереваетесь сделать нейронную сеть инвариантной по отношению к этому измерению или сделать обучение, обладающее меньшей вычислительной силой.
- *Увеличение данных* - включает в себя расширение существующего набора данных с помощью текущих типов изображений с нарушением, включая масштабирование и вращение. Вы делаете это, чтобы выставить нейронную сеть различным вариациям. Таким образом, эта нейронная сеть с меньшей вероятностью идентифицирует нежелательные характеристики в наборе данных.

После подготовки обучающих изображений понадобится система, которая сможет их обрабатывать и использовать для прогнозирования новых неизвестных изображений. В качестве такой структуры в данном исследовании применялась нейронная сеть. Описание работы сети – это материал следующей публикации. Здесь же мы остановимся на этапе подготовки изображений. Изображения объектов сканирования были использованы для обучающей выборки, а также для тестирования и отладки работы сети. Обученная и настроенная сеть была использована для классификации реальных изображений.

Экспериментальная часть

Подготовка изображений для обучения сети

Поставлена задача для нейронной сети: распознавать четыре класса объектов, а именно: молоток, напильник, рулетка и разводной ключ. Таким образом необходимо получить четыре комплекса изображений.

Из 2000 фотографий каждого класса, получили 8000 фото исходного dataset. Фотографии были различного плана, содержали в себе разные виды (форма, цвет) инструментов. Фон также был разным, чтобы сеть не могла привязаться к окружению, а запоминала только инструменты.

Каждая фотография была быть продублирована битовой маской, которая определяет правильное решение (рис. 1). Правильное решение - это выделенный инструмент на фоне остального изображения. В нашем случае сеть была настроена таким образом, что на вход при обучении подавались два изображения, одно обычное, второе с черным фоном и выделенным белым инструментом, как показано на рисунке 1.



Рис. 1

Для оценки точности работы системы на вход были загружены несколько выборок из 1000 фотографий с различными инструментами, не принимавшими участие в обучении. Результаты работы сети приведены в таблице 1. По ней видно, что среднее количество ошибочно распознанных изображений равно 76. Это соответствует 7.6% ошибок, что для данной сети является отличным результатом. Анализ нераспознанных фото показал, что инструменты на этих кадрах либо слишком размыты, либо плохо выделяются на остальном фоне.

Таблица 1

Результаты распознавания

Попытка	Общее кол-во изображений	Распознано	Не распознано	% ошибки
1	1000	948	72	7.2
2		919	81	8.1
3		925	75	7.5
Среднее		924	76	**7.6**

Заключение

Система показала себя довольно хорошо. Общая средняя ошибка распознавания составила 7.6%, что уже соизмеримо с человеком. Однозначно удалось установить, что при правильном создании модели нейронной сети, робот станет обладать хорошим модулем распознавания и сможет быстро реагировать на текущие задачи по классификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гашников, М. В.* Методы компьютерной обработки изображений Текст. / М. В. Гашников, Н. И. Глумов, Н. Ю. Ильясова [и др.]; под. общ. ред. В. А. Сойфера. — Изд. 2-е, испр. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 784 с.

2. *Николаев, М. И.* Математическая модель системы технического зрения для геометрических микроизмерений Текст. / М. И. Николаев // Электронное приборостроение. Научно-практический сборник. Выпуск 2(47). — Казань: ЗАО «Новое знание», 2006. — С. 64-76.

3. *Николаев, М. И.* Разрешающая способность системы машинного зрения Текст. / М. И. Николаев // Туполевские чтения. Междунар. молодежная науч. конф.: Материалы конф. Том 4. — Казань: Изд-во Казан, гос. тех. ун-та, 2004. — С. 47-48.

4. *Cybenko G.* Approximations by superpositions of sigmoidal functions. Mathematics of Control, Signals, and Systems 2: 1989, pp.303–314.

5. *Hinton G, Osindero S, Teh Y.* A fast learning algorithm for deep belief nets. Neural Computation 18: 2006, pp. 1527–1554.

6. *Kuffner J.* Cloud-enabled humanoid robots. In: Proceedings of the IEEE-RAS 10th international conference on humanoid robots (Humanoids) Nashville TN, United States, Dec.; 2010.

7. *Remmersmann T, Schade U, Schlick C.* Supervisory control of multi-robot systems by disaggregation and scheduling of quasi-natural language commands. In: Proceedings of the IEEE international conference on systems, man, and cybernetics (SMC). IEEE; 2012. c. 315–20.

THE TECHNIQUE FOR OBTAINING IMAGES OF SCANNING OBJECTS FOR THE PROCESS OF IMAGE CLASSIFICATION IN ROBOTICS

Gabitov A.A., Gusev R.N

arthur.gabitov@fanuc.eu, anna_vik@mail.ru

Supervisor: Kalyashina A.V.

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

Robotic manipulators are actively developing in the industrial field. But there are issues that have been relevant since the inception of robotics, and remain relevant to this day. This article discusses the classification of objects obtained by scanning based on neural networks. The concept of “convolutional neural network” and deep learning are examined in detail. What is necessary for proper training of a neural network, and how to prepare the necessary data for it. How to create your own model of a neural network, after training which the robot has the opportunity to recognize objects in the same way as humans. As well as the results of this network and its percentage of errors.

УДК 59.03.05

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО АППАРАТА ОЦЕНИВАНИЯ ТОЧНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

Гайдуков Е.В., Нестерук С.С.
evgeniygaidukov1987@gmail.com
Научный руководитель: С.В. Колесниченко, доктор технических наук, профессор
Министерство обороны РФ
Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования
«Михайловская военная артиллерийская академия», город Санкт-Петербург

Аннотация. Исследованы подходы по оцениванию точности навигационных параметров в бортовой аппаратуре комплексированных систем управления реактивных снарядов большой дальности. Рассмотрены основные этапы процессов формирования точности навигационных параметров аппаратуры систем управления, а также их особенности в ходе предстартовой подготовки и непосредственно в полете снарядов. Сделан акцент на важность участков конечного наведения управляемых снарядов большой дальности. Проведена экспресс-оценка основных составляющих точности поражения типовых целей в условиях функционирования альтернативных навигационных систем.

Введение.

Совершенствование систем управления (СУ) ракет и реактивных снарядов различного назначения осуществляется по достаточно близким в концептуальном плане направлениям [1, 5, 13]:

уменьшение инструментальных ошибок;

улучшение массовых и габаритных характеристик;

применение элементов и устройств, работающих на новых физических принципах;

применение новых методов управления, обработки и передачи информации;

применение интеллектуальных технологий.

При этом общее направление совершенствования СУ соотносится с проблемой снижения ее удельной стоимости в составе ракеты (снаряда) и РК (РСЗО) в целом.

Согласно установившимся представлениям [2, 3, 5, 13, 10] точность является совокупностью характеристик степени поражения цели и численно выражается через вероятность поражения, математическое ожидание числа пораженных целей, гарантированный ущерб и другие показатели. Эффективность обеспечивается рациональным сочетанием всех подсистем вооружения. Наибольший вклад в нее вносят точность попадания и могущество боевого заряда. Обычно в качестве достаточно полной характеристики используются координатные законы поражения, функционально связывающие вероятность поражения цели с местоположением точки подрыва боевого заряда. Нередко также удается выразить свойства боевого заряда такими численными характеристиками, как - величина приведенной площади поражения или радиус круговой зоны поражения типовой цели. Применительно к ВТО и высокоэффективному оружию (ВЭО) в первом рассматривается попадание в область пространства, фактически занимаемую целью, во втором - в приведенную зону или площадь поражения. При этом высокая эффективность оружия обеспечивается рациональным распределением поражающего эффекта в пространстве.

Кроме того, одним из важнейших направлений совершенствования ракет и управляемых реактивных снарядов (УРС) Сухопутных войск является разработка комплексированных систем управления [8].

Формирование методического аппарата оценивания точности УРС

При разработке методического аппарата оценивания точности в качестве исходных данных предлагается использовать:

данные военно-технического анализа конструкции систем управления существующих РСЗО и РК;

задачи комплексов РСЗО и РК по огневому поражению группировок противника в оборонительных и наступательных операциях;

данные анализа условий применения корректируемых и управляемых реактивных снарядов большой дальности (УРС);

данные анализа и обобщения возможного состава поражаемой группировки противника, а также отдельных типовых целей.

Процедуры оценки параметров промаха средств поражения разрабатывались для двух типов боевых частей, в частности, для БЧ площадного действия и БЧ сосредоточенного действия.

В общем случае предлагаемый метод представляет собой совокупность следующих этапов:

1. Оценка условий применения УРС;
2. Определение величины предельно допустимого отклонения УРС, обусловленного ошибкой работы приборов системы управления;
3. Формирование требований к допустимым величинам погрешностей чувствительных элементов (ИНС или БИНС).

Оценка условий применения УРС

Исходными данными для проведения анализа условий применения ракет являются:

задачи комплексов РСЗО по огневому поражению группировок

противника в оборонительных и наступательных операциях;

оперативно-тактические показатели армейских (фронтовых) наступательных и оборонительных операций;

данные анализа и обобщения возможного состава поражаемой группировки противника.

Оценка условий применения УРС в общем виде можно представить

следующей последовательностью действий:

1. Анализ целевой обстановки;
2. Анализ траектории и динамики движения управляемого снаряда;
3. Анализ функционального состава системы управления.

Анализ целевой обстановки.

Под целевой обстановкой (ЦО) понимается совокупность объектов, поражаемых РСЗО и задаваемых пространственно-временным их расположением, характеристиками каждого объекта и требуемым уровнем воздействия для гарантированного его поражения (подавления). В целях проводимого исследования рассмотрено ограниченное число объектов, которые в определенном смысле являются типовыми и отражают основную сущность объектов различных классов. Причем, ЦО представляет собой всевозможные совокупности объектов поражения в соответствии с диапазоном решаемых РК задач. Принята следующая классификация ЦО:

- по пространственному размещению объектов: пространственная (совокупность объектов сильно разнесена по площади и по диапазону высот);

площадная (объекты расположены в одной плоскости); линейная (объекты расположены на одной прямой) и т.д.;

- по характеру среды, в которой функционируют объекты поражения и элементы РК: наземная, воздушная, космическая, комбинированная;
- по изменении параметров во времени: динамическая (подвижные

объекты с переменными во времени характеристиками), изменяющаяся

(меняется состав и характеристики стационарных объектов), стационарная (неподвижные объекты без изменения состава и характеристик).

В ходе операции элементам РСЗО (РК) может оказываться противодействие – комплекс средств и мер, направленных на уменьшение эффективности работы данных элементов.

В общем случае в процессе операции объекты ЦО могут изменять свое состояние, а значит, и свою реакцию на воздействие; в этом смысле они имеют аналогию с активным противодействием. Кроме того, объекты и возможное противодействие взаимосвязаны: характер объектов определяет уровень противодействия элементам РСЗО.

Результатами анализа ЦО должны стать следующие выводы:

исходя из пространственного размещения типовых объектов поражения, определяются типы и характеристики поражающего действия боевых частей;

анализ возможного противодействия позволяет сделать вывод о необходимости осуществления противоракетного манёвра;

степень подвижности объектов поражения определяет максимальное

время проведения предстартовых операций;

задаётся требуемый уровень воздействия (уничтожение или подавление).

Анализ траектории и динамики движения УРС (ракеты).

Ракеты и управляемые реактивные снаряды СВ относятся к классу управляемых ракет «земля-земля». Траектории таких ракет, применяемые при исследованиях и проектировании СУ можно классифицировать по следующим признакам:

геометрическому виду;

способу обеспечения дальности в заданном диапазоне;

способу программирования траектории.

По геометрическому виду траектории ракет и управляемых снарядов могут быть баллистическими, траекториями с полетом на постоянной высоте и деформированными баллистическими (путем управления движением центра масс) [4].

Управление дальностью стрельбы ракет и УРС в классе баллистических траекторий осуществляется при помощи навесных и настильных траекторий.

Если первые два признака характеризуют геометрический вид траектории, то следующие два определяют вид траектории с точки зрения их формирования и задач исследования.

Принципы программирования движения определяют три типа траекторий: жесткие, гибкие и свободные [4, 8, 10]. Принцип жесткого программирования состоит в предварительном (до начала движения) составлении модели движения с разработкой программы управления. Эти программы в составе полетного задания вводятся в контур управления, и СУ отрабатывает их в реальных условиях полета. «Жесткость» программы определяется ее зависимостью от одного переменного — времени. При этом отсутствует возможность изменить программу в реальных условиях полета, отличающихся от априорных, которые приняты при программировании движения. Для твердотопливных ракет отсутствует возможность регулировать тягу ДУ, и задание жесткой программы в плоскости стрельбы приводит к существенным отклонениям действительной траектории от программной. В случаях, когда мала достоверность априорной информации о начальных условиях или условиях полета с высоким уровнем внешних возмущений, использование жестких программ становится нецелесообразным.

Широкое применение в инерциальных СУ ракет нашли параметрические программы, представляющие по сути зависимости, аналогичные законам

управления и основанные, как правило, на эвристическом подходе. Параметрические программы реализуют принцип гибкого программирования. Гибкие

программы обеспечивают сближение действительной траектории движения

и программной, рассчитанной заранее.

Принцип управления, при котором программа требуемого движения

определяется во время полета на основе информации о текущих параметрах движения и цели управления, называют принципом свободного программирования, а траектории ЛА — свободными.

В результате анализа траектории и динамики движения определяются:

исходя из максимальной дальности – время полёта;

из анализа динамики движения определяется время прохождения типовых участков (в процентном соотношении к общему времени полёта) и порядок, действующих на них возмущений (линейных ускорений и угловых скоростей).

Оценка функционального состава системы управления

Проведенный выше анализ позволяет сделать вывод о том, что наряду с инерциальными системами управления в настоящее время активно развиваются комплексированные системы. Структурно данные системы, как правило, включают несколько альтернативных навигационных систем и в зависимости от комбинаций подключения, обратных связей, а также порядку обработки сигналов выполняются по следующим возможным схемам:

разомкнутая;

слабосвязанная;

сильносвязанная;

глубокоинтегрированная.

Независимо от варианта построения комплексированных систем, они, как правило, включают в своём составе ИНС (БИНС), а вариант функционального состава в конечном итоге определяет требования к точности формирования навигационных параметров.

В качестве примера можно рассмотреть три варианта построения системы управления: БИНС, функционирующая в автономном режиме; КСУ, имеющая в своём составе БИНС и аппаратуру потребителя СРНС; КСУ, имеющая в своём составе БИНС и ГСН.

Очевидно, что в перечисленных случаях требуемая точность работы БИНС будет различной [9, 10]. В первом точность работы системы управления определяется исключительно точностью функционирования БИНС, соответственно, в этом случае требования, предъявляемые к точности функционирования БИНС, будут самыми жесткими. Во втором случае ошибки выработки навигационных параметров БИНС будут компенсироваться за счет избыточной навигационной информации, вырабатываемой АП СРНС, что приведёт к снижению требований к точности БИНС. В случае третьего варианта построения системы управления её задача будет заключаться в том, чтобы на этапе подлёта к цели, обеспечить правильное функционирование головки самонаведения. При этом точность функционирования БИНС будет определяться именно требованиями к точности вывода ракеты в район цели.

В результате оценки функционального состава системы управления должны быть определена возможная степень снижения требований к точности БИНС.

2. Определение величины предельно допустимого отклонения

снаряда (ракеты), обусловленного ошибкой работы приборов системы управления

Применительно к боевым частям сосредоточенного действия (ФБЧ) для оценки величины допустимой срединной суммарной ошибки пуска в метрах использовалась зависимость между вероятностью поражения точечной

(малоразмерной) цели и параметрами могущества боеприпаса, и точностью

пуска, разрешенная относительно Ep [2, 3, 7]:

$$P_{пор} = 1 - e^{-\rho^2 \frac{S_{пр}}{\pi E_p^2}}, \qquad (1)$$

где Sпр – приведенная площадь поражения ФБЧ.

Применительно КБЧ для оценки величины допустимой срединной суммарной ошибки пуска в метрах использовалась зависимость между математическим ожиданием значения причиненного ущерба цели, её параметрами, площадью рассеивания боевых элементов (БЭ) и точностью пуска, разрешенная так же, как и в предыдущем выражении, относительно Е р:

$$M_{ущ} = 1 - e^{-\rho^2 \frac{R_{зр}^2}{E_p^2 + \frac{0{,}114}{\pi} S_ц}}, \qquad (2)$$

где Rзр – радиус зоны рассеивания БЭ; Sц – площадь цели.

Для последующего анализа составляющих срединного суммарного отклонения БЧ использована зависимость следующего вида

$$E_p = \sqrt{E_{ЦУ}^2 + E_{ТП}^2 + E_{СУ}^2 + E_{СПр}^2}, \quad (3)$$

где Ецу – ошибка целеуказания;

Етп – характеристика ошибки топогеодезической привязки;

ЕСУ – рассеивание ракеты за счёт погрешности работы её СУ;

ЕСПр – предельное отклонение ракеты за счёт суммарной погрешности СПр (ошибки выставки БИНС).

Для получения предельных ошибок системы систем управления, а также для последующего формирования требований к допустимым величинам погрешностей чувствительных элементов (ИНС или БИНС) целесообразно использовать выражение (4)

$$E_{СУ} = \sqrt{E_p^2 - E_{ЦУ}^2 - E_{ТП}^2 - E_{СПр}^2} \quad . \qquad (4)$$

Выводы

1. В образцах управляемого вооружения РК и РСЗО широкое развитие получили инерциальные СУ как платформенного типа, так и на основе бесплатформенных инерциальных навигационных систем.

2. На основе анализа задач и условий боевого применения РСЗО, схемных и технических решений систем управления УРС исследованы причинно-следственные связи процессов формирования точности на этапах предстартовой подготовки и полета снарядов.

3. Сформированы направления детализации и адаптации методического аппарата разработки КСУ ракет и реактивных снарядов, основными из которых являются:

разработка способов формирования начальных условий полета;

разработка методического аппарата оценивания точности процессов функционирования КСУ;

разработка методов и моделей обработки навигационной информации в комплексированных системах управления;

разработка методики оценивания эффективности функционирования КСУ;

обоснование схемных, технических и конструктивных решений бортовой аппаратуры КСУ.

4. Опыт ведущих учреждений и предприятий РФ по разработке перспективного РАВ показывает, что в настоящий момент весьма эффективной возможностью наращивания его боевых характеристик является успешное решение задачи внедрения современного навигационно-временного обеспечения предстартовой подготовки, пуска и полета ракет, а также управляемых реактивных снарядов РСЗО.

5. Практическая реализация рассмотренных положений научно-методического аппарата при проектировании комплексированных систем управления перспективных высокоточных средств поражения позволит:

повысить точность поражения целей при нанесении ракетных ударов;

адекватно формировать требования к точности как наземных, так и бортовых элементов автономных систем управления реактивных снарядов и ракет;

сократить время начальной выставки приборов СУ на 25-40 %;

повысить надежность процессов навигационных определений;

повысить скрытность процессов обработки информации бортовыми навигационными системами;

в режиме реального времени осуществлять коррекцию начальных условий местоположения и последующего наведения высокоточных средств поражения (или других высокоскоростных высокоманевренных объектов);

повысить в целом качество обеспечения процессов функционирования систем управления высокоточного ракетно-артиллерийского вооружения при минимизации промахов наведении их на поражаемые объекты в изменяющихся условиях реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аналитические частотные методы исследования процессов в многосвязанных непрерывных системах авто¬матического управления: учебное пособие / А.В. Земсков, В.А. Земсков. – Саратов: СВВКИУ РВ, 1993. – 112 с.

2. Военно-научные исследования и разработка вооружения и военной техники: учебник, часть I / Л.А. Мартыщенко, А.Е. Филюстин, Е.С. Голик и др. – Министерство обороны РФ, 1993. – 304 с.

3. Военно-технический анализ ракетного вооружения: учебник / Л.А. Мартыщенко, А.Е. Филюстин, К.А. Злотников. – Л.: ВАА, 1991. – 404с.

4. Динамика полета. Траектории летательных аппаратов: учебник / И.В. Остославский, И.В. Стражева. – М.: Машиностроение, 1969. – 499 с.

5. Земсков А.В. Теория автоматических систем управления: учебное пособие. – СПб.: МВАА, 2005. – 312 с.

6. Колесниченко С.В. Навигационно-временное обеспечение комплексированных систем управления высокоточного ракетно-артиллерийского вооружения: монография. – СПб.: МВАА, 2011. – 106 с.

7. Колесниченко С.В. Разработка методологии обоснования требований к точности чувствительных элементов комплексированных систем управления летательных аппаратов // Мехатроника. Автоматизация. Управление, № 10, 2014. – С. 67–72.

8. Колесниченко С.В., Ульянов Г.Н. Особенности построения интегрированных систем управления высокодинамичных объектов // Вопросы оборонной техники, Серия 16, № 11-12 (89-90), 2015. – С. 29–33.

9. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем / В.В. Матвеев, В.Я. Распопов. – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – 280 с.

10. Основы теории систем управления высокоточных ракетных комплексов. / Б.Г. Гурский, М.А. Лющанов, Э.П. Спирин и др. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 328с.

11. Основы теории эффективности боевых действий РВиА: монография / В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов, Д.П. Гасюк. – МО РФ, 2003. – 168 с.

12. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. / Под ред. В.С. Шебшаевича. – М.: Радио и связь, 1993. – 408с.

13. Теория, конструкция и основы проектирования систем управления: учебник / Демиденко В.П., Колесниченко С.В., Умеренков С.А. – СПб.: МВАА, 2016. – 403 с.

JUSTIFICATION THE EVALUATION OF PRECISION APPARATUS AND METHODICAL MOTION PARAMETERS MANAGED ROCKETS

Gaidukov E.V., Nesteruk S.S.
evgeniygaidukov1987@ gmail.com
Supervisor: S.V. Kolesnichenko, doctor of technical sciences, Professor
Ministry of defence of the Russian Federation
The federal Treasury military educational
institution of higher education
Mikhailovskaya artillery Military Academy, Saint Petersburg

Annotation. Evaluation approaches have been investigated the accuracy of navigation parameters in on-board equipment of interconnected control systems for long-range missiles. The basic stages of formation processes of precision navigationhardware settings control systems, as well as their particular during prelaunch and directly in the flight of projectiles. Emphasis on the importance of the destination sites managed command shells. Carried out assessment of the basic components of precision defeat common objectives in the context of alternative navigation systems.

УДК 65.011.56

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА

Гнусарёва А.А.
anastasiyasoul@yandex.ru
Научный руководитель: Галимова Л.Н., процессор кафедры ГСД, доктор исторических наук, доцент
(Ульяновский институт Гражданскй авиации Имени главного маршала авиации Б.П. Бугаева, Ульяновск)

Аннотация: В данной статье содержится информация о таком понятие, как информационные системы управления. Рассмотрены основные виды систем, задачи, а также достоинства и недостатки. Приведены примеры таких систем и исследовано их влияние в области обеспечения качества на предприятие.

Современный мир можно охарактеризовать постоянными изменениями, которые происходят день за днём. Во всех сферах деятельности работа направлена на повышение качества, достижения автоматизации производства, снижение количества неполадок в технологическом процессе, иными словами, максимальная отладка производства для снижения уровня брака и повышения уровня получаемой прибыли. В большинстве случаев ручной труд заменяется на механизированный или автоматизированный, что значительно увеличивает точность производства за счёт отлаженной работы машин. Это происходит благодаря подробному изучению, совершенствованию и внедрению в человеческую жизнь информационных систем.

Контроль качества на любом производстве требует значительных затрат. Это довольно сложный и трудоёмкий процесс, который требует немалых усилий. Именно поэтому в современном мире существует такая специальность, как специалист по качеству. Его работа влияет на результат деятельности предприятия в целом, поэтому она должна иметь высокий уровень точности и высокую концентрацию внимания при её выполнении. К сожалению, осуществлять это вручную оказывается довольно сложно, так как практически любое предприятие имеет большую структуру и немалое количество аспектов, которые должны подвергаться контролю при выпуске продукции или оказании услуг требуемого качества. Именно поэтому, любой специалист по качеству, а так и любая организация, используют в своей деятельности информационные системы управления для более качественного выполнения работ.

Целью данной работы является подробное рассмотрение информационных систем управления в практическом применении для обеспечения качества продукции или услуг. Разберемся в этом понятие подробнее.

Информационные системы управления (Management information system, MIS) – это система обработки данных, которая обеспечивает снабжения предприятия внутренней и внешней информацией, которая необходима для принятия решения на всех уровнях менеджмента.

Данная система, в отличии от других, имеет большие возможности при сборе данных, допускает сложные методы обработки полученной информации и может выдавать большой объём информации. Главной её целью является соединение большого количества разрозненной информации в единой целое, причём информация должна быть не только о деятельности предприятия, но различные данные, которых поступают из внешних источников. Данные системы обеспечивают ряд функций, которые позволяют:

1. осуществлять такой принцип менеджмента-качества, как принятие подход принятия решений, основанных на фактах за счёт быстрого сбора и выдачи имеющейся информации;
2. вовремя принимать решения по управлению организацией в условиях рынка;
3. обеспечить рост эффективности управления за счёт постоянного доступа руководителя к различной информации;
4. принимать согласованные решения между различными структурными звеньями и различными подразделениями за счёт единой базы;
5. повышать производительность труда за счёт постоянного доступа сотрудников к информации о текущем состояние производства.

Несмотря на всю пользу данной системы, в базу данных добавляется только та информация, которая соответствует следующим требованиям:

1. информация должна заноситься в базу в полном объёме;
2. своевременное занесение информации в базу данных;
3. достоверность заносимой информации;
4. информация должна легко изменяться под различные информационные потребности пользователя.

Применение информационных систем управления позволяют решать на предприятие ряд задач, которые связаны с накоплением опыта и знаний у сотрудников, постоянное совершенствование и развитие как сотрудников, так и предприятия в целом. Так же предприятию легко получать информацию об изменениях потребностей потребителей на рынке, что позволяет быстро перестроить производство для дальнейшего получения прибыли и избежать ситуации банкротства в связи с простоем.

Данная система задействует все уровни и службы управления предприятием, такие как, финансово-бухгалтерскую службу, службу маркетинга, управление производством и ряд других.

Существует классификация информационных систем управления качеством, которая состоит из трёх основных групп.

Первая – это классификация по характеру представления и логической организации информации. В ней выделяют три вида систем:

1. Фактографическая – она позволяет накапливать и хранить информацию в виде большого количества экземпляров информации, которая содержит сведения о каких-либо событиях или фактах в отдельности друг от друга.
2. Документальная. Её основу составляет входной неструктурированный документ, то есть различные текстовые, графические, звуковые файлы.
3. Геоинформационные. Содержит отдельные объекты, привязанных к общей электронной карте, и информацию о них.

Вторая группа разделяет информационные системы по функциям и задачам. Выделяют следующие виды:

1. Справочная. Даёт возможность пользователям получать необходимые классы объектов, таких как телефоны, адреса, литературу и т.д.

2. Информационно-поисковые. Предназначены для поиска информации по различным запросам.

3. Расчетные. Обрабатывает информацию по определенным расчётным алгоритмам.

4. Технологические. Обеспечивают автоматизацию технологического цикла или его составляющих.

Третья группа классифицирует системы по масштабу. Они могут быть:

1. Локальное автоматизированное место (АРМ) – предназначено для реализации задач на одном рабочем месте.

2. Комплекс связанных АРМ – обеспечивает связь между различными функциями в пределах одного предприятия.

3. Корпоративные информационные системы (КИС) – обеспечивает полное управление функциями в рамках крупномасштабных предприятий.

Благодаря применению информационных систем из различной внутренней и внешней информации формируется совершенно новая, которая называется информационными продуктом или услугой [1].

Данные системы формируются из регламента, который определяется методами и структурой управления, принятыми на каком-то конкретном предприятии, и помогает реализовать цели и задачи на нём. Они распространяются как на крупные предприятия, так и предприятия небольшого размера, и, как ни странно, между ними существуют небольшие различия, которые заключаются в охвате различных бизнес-процессов предприятия.

Недостаток таких систем состоит в том, что несмотря на возможность вести учёт практически во всех сферах деятельности, они содержат большое количество различных настроек и параметров, что обычный пользователь не всегда разберется в них. Поэтому предприятию приходится пользоваться услугами по их установке и настройке. Стоимость данной услуги чаще всего завышена, и поэтому не все предприятия могут себе это позволить [2].

Так же существует и ряд других минусов, это стоимость обслуживания данной системы в случае её выхода из строя или потребности в значительном изменении, что является достаточно дорогой процедурой, поэтому в некоторых случаях необходимо наличие специального подразделения, которым будет заниматься данными вопросами. Так же в ряде случаев внедрение таких систем требует незначительных изменений в организации предприятия [3].

Как уже было выяснено, информационные системы управления позволяют решить ряд проблем и помогают в управление производством, поэтому рассмотрим их практическое применение на примере наиболее популярных систем.

SAP R/3 является самым часто используемым в мире стандартным решением класса EPR, которое позволяет обрабатывать электронную информацию в виде связи «клиент-сервер» и обеспечить одновременную работу до 30 тысяч пользователей. Главное достоинство данной системы состоит в том, что все её компоненты при внедрении на предприятие настраиваются на процессы этого конкретного предприятия. При этом заказчик сам выбирает наиболее удобную для него конфигурацию бизнес-процессов. Данная система исключает иные источники получения информации и даёт полное представление о ходе производственного процесса, за счёт чего повышает его эффективность. Данная платформа позволяет автоматизировать все процессы учета и управления на предприятии, а широкие спектр настроек позволяет внедрить её в любой сфере. Главным недостатком является сложность настроек и высокие требования к организации производства. Внедрение такие системы обойдётся в 300-350 тысяч долларов (стоимость на 50 пользователей) [4].

Oracle E-Business suite – это полный комплекс приложений, который позволяет использовать его как внутри предприятия, так и в глобальном интернете. Он включает в себя приложения, которые позволяют оптимизировать и автоматизировать процессы

предприятия, которые касаются таких сфер, как маркетинг, продажи, бухгалтерия, учёт кадров и др.

В России так же ведётся активная разработка и внедрение информационных систем управления и примером одной из них является «Галактика». Данная система позволяет решать задачи на всех стадиях управления, начиная с прогнозирования и заканчивая анализом результатов. Она имеет модульную структуру, состоящую из ряда контуров, которая представлена на рисунке 1.

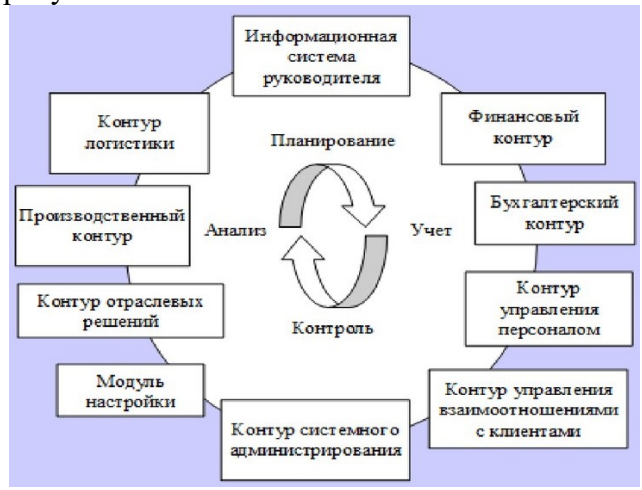


Рисунок 1 – Состав системы Галактика

Каждый из элементов может быть использован для управления как руководителем, так и исполнителем, так как каждый из них содержит ряд определенных функций, а также позволяет осуществлять решение различных задач, касающихся различных видов управленческой деятельности.

Подводя итоги, можно сделать вывод о том, что применение информационных систем управления обеспечивает полный контроль над различными процессами на предприятие, что обеспечивает возможность планирования требуемого результата, отслеживание его реализации, а также возможность прогнозирования различных сбоев и неполадок, снижение за счёт этого затрат на их устранение, что является одним из главных аспектов в достижении высокого уровня качества и получении максимального дохода. Применение таких систем специалистов по качеству облегчает их работу и помогает избежать ряда ошибок, которые связаны с человеческим фактором. В современных условиях, при всём многообразии видов деятельности по производству продукции и услуг, применение таких систем является залогом успеха любого предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Варфоломеева, А.О.* Информационные системы предприятия: Учебное пособие / А.О. Варфоломеева, А.В. Коряковский, В.П. Романов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 283 с.

2. *Мезенцев, К.Н.* Автоматизированные информационные системы: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования / К.Н. Мезенцев. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 176 с.

3. Информационные системы и технологии управления: Учебник / Под ред. *Г.А. Титоренко*. - М.: ЮНИТИ, 2013. - 591 с.

4. *Норенков, И.П.* Автоматизированные информационные системы: Учебное пособие / И.П. Норенков. - М.: МГТУ им. Баумана, 2011. - 342 с.

RESEARCH OF QUALITY MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS

Gnusareva A.A.
anastasiyasoul@yandex.ru
Scientific adviser: Galimova L.N., processor of the Department of GDS, doctor of historical sciences, associate professor
(Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after the Chief Marshal of Aviation B. P. Bugayeva, Ulyanovsk)

Abstract: This article contains information about such a concept as management information systems. The main types of systems, tasks, as well as advantages and disadvantages are considered. Examples of such systems are given and their influence in the field of quality assurance on the enterprise is investigated.

УДК 519.71

РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВУХЗВЕННЫМ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ

Губайдуллин Ш.И.
shamil369@yandex.ru
Научный руководитель: Р. Н. Файзутдинов, к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет-КАИ им. А.Н.Туполева , г. Казань)

Разработана методика многокритериального синтеза робастного регулятора для двухзвенного робота-манипулятора. С использованием разработанной методики проведен многокритериальный синтез робастного закона управления.

Развитие науки и техники за последнее время качественно сказалось на возможностях применения робототехнических комплексов во многих областях жизнедеятельности человека. На сегодняшний день многозвенные роботы манипуляторы широко применяются в промышленности, аэрокосмической отрасли, образовании, медицине и т.д. Для управления роботами-манипуляторами разработано множество эффективных методов и алгоритмов [1]. В большинстве существующих методов синтеза законов управления роботами-манипуляторами предполагается, что параметры робота известны точно. На практике зачастую параметры роботов имеют отклонения от номинальных значений, а сами параметры могут меняться в процессе функционирования, Поэтому важно обеспечить робастность системы в условиях неопределенности ее параметров.

Рассмотрим задачу робастного управления плоским двухзвенным роботом манипулятором.

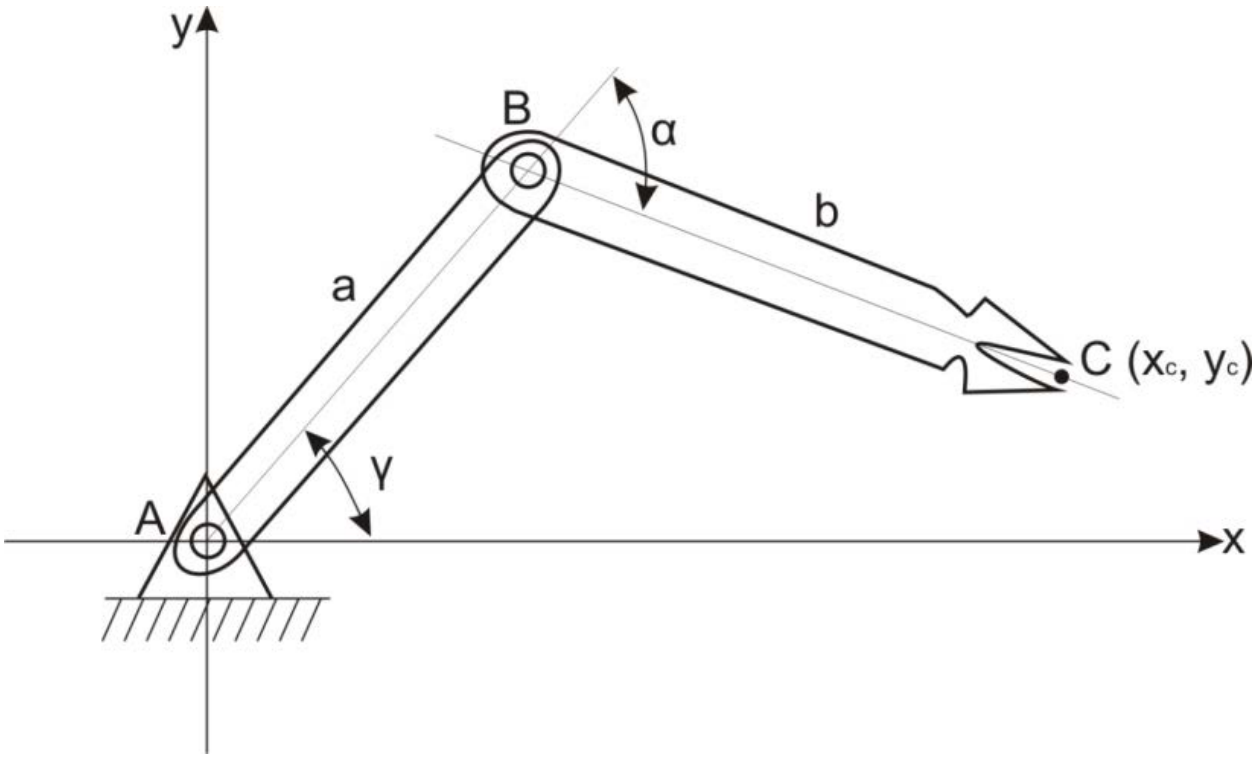


Рис.1. Двухзвенный механический робот манипулятор.

Робот манипулятор (рис.1) состоит из двух звеньев, первое из которых прикреплено к несущей платформе в точке *A*. Второе звено робота крепится к концу первого в точке *B*. Угловые положения первого звена по отношению к платформе и второго звена по отношению к первому звену определяются, соответственно, углами γ и α. Звенья робота манипулятора представлены однородными стержнями разной длины. На конце второго звена расположен схват механизма.

Как показано в работе [1], уравнения движения робота-манипулятора в форме Эйлера-Лагранжа, можно представить в векторно-матричном виде:

$$M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau + \tau_e, \quad (1)$$

где $q \in R^m$ – вектор обобщенных координат, $M(q)$ – матрица инерции, $C(q,\dot{q})$ – матрица кориолиосовых и центростремительных сил; $g(q)$ – гравитационный член, τ, τ_e – соответственно, m-векторы моментов управляющих двигателей и внешних возмущающих моментов, действующих на звенья робота. Вектор $q = \left[q_1(t) \quad q_2(t)\right]^{\mathrm{T}} = \left[\gamma(t) \quad \alpha(t)\right]^{\mathrm{T}}$ возьмем в качестве обобщенных координат.

Зададим желаемую траекторию робота $q_d(t)$. Введем векторы угловых ошибок $e_q(t) = q(t) - q_d(t)$ и ошибок угловых скоростей $\dot{e}_q(t) = \dot{q}(t) - \dot{q}_d(t)$. Матрицы из уравнения (1) представим в следующем виде $M(q) = M_0(q) + \Delta M(q)$, $C(q,\dot{q}) = C_0(q,\dot{q}) + \Delta C(q,\dot{q})$, $g(q) = g_0(q) + \Delta g(q)$, здесь $M_0(q)$, $C_0(q,\dot{q})$, $g_0(q)$ – номинальные матрицы, определенные при точных значениях параметров системы, $\Delta M(q)$, $\Delta C(q,\dot{q})$, $\Delta g(q)$ – неопределенности модели, определяемые неопределенностями параметров. В результате с учетом внешних возмущений, действующих на систему, уравнение (1) приобретает следующий вид:

$$M_0(q)\ddot{q} + C_0(q,\dot{q})\dot{q} + g_0(q) = \tau + \delta(q,\dot{q},\ddot{q}). \quad (2)$$

где $\delta(q,\dot{q},\ddot{q}) = -(\Delta M(q)\ddot{q} + \Delta C(q,\dot{q})\dot{q} + \Delta g(q)) + \tau_e$. Уравнения в форме пространства состояния, описывающие динамику ошибок системы (2) имеют вид

$$\dot{x} = A(\dot{q},q)x + Bu + Bw, \quad (3)$$

где

$$A(\dot{q},q)=\begin{bmatrix}0_{2\times2} & I_2\\ 0_{2\times2} & -M_0^{-1}C_0(q,\dot{q})\end{bmatrix},\ B=\begin{bmatrix}0_{2\times2}\\ I_2\end{bmatrix},$$

I_2 – 2x2 единичная матрица, $0_{2\times2}$ – 2x2 нулевая матрица, $x=\begin{bmatrix}e_q^{\mathrm{T}} & \dot{e}_q^{\mathrm{T}}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ – вектор состояния, $u=M_0^{-1}(\tau-M_0(q)\ddot{q}_d-C_0(q,\dot{q})\dot{q}_d-g_0(q))$ – вектор управления, $w=M_0^{-1}\delta(q,\dot{q},\ddot{q})$ – вектор возмущающих воздействий.

Матрица $A(\dot{q},q)$ зависит только от обобщенных координат $q(t)$ и обобщенных скоростей $\dot{q}(t)$. Поэтому систему (3) можно рассматривать как квазилинейную параметрическую систему [2], зависящую от вектора переменных параметров $\rho(t)=\begin{bmatrix}q^{\mathrm{T}}(t) & \dot{q}^{\mathrm{T}}(t)\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$

Для синтеза регулятора преобразуем уравнение (3) к следующему виду

$$\begin{cases}\dot{x}=A(\rho(t))x+Bu+Bw,\\ z=Cx+D_1u+D_2w,\end{cases}\qquad(4)$$

где $z\in R^s$ – вектор выходных переменных; $C=\begin{bmatrix}I_2 & I_2\end{bmatrix}$, $D_1=I_2$, $D_2=0_{2\times2}$ – постоянные матрицы. Регулятор возьмем в виде функции от переменных состояния $u = u(x)$. Пусть на вход объекта (4) действует ограниченное по норме L_2 возмущение $w(t)$. Тогда, если регулятор асимптотически стабилизирует замкнутую систему и обеспечивает выполнение неравенства

$$\sup_{w\neq0}\frac{\|z\|_{L_2}}{\|w\|_{L_2}}<\gamma,\ \gamma>0,\qquad(5)$$

то уровень гашения возмущений в замкнутой системе меньше заданного числа γ [3]. Задача синтеза регулятора, обеспечивающего асимптотическую устойчивость замкнутой системы и гашение возмущений в соответствии с условием (5) называется задачей синтеза субоптимального H_∞-регулятора [3].

Субоптимальный H_∞-регулятор обеспечивает только асимптотическую устойчивость и гашение возмущений в замкнутой системе. Для обеспечения качества переходных процессов используем размещения полюсов в область $S(\alpha,r,\theta)$ (рис. 2).

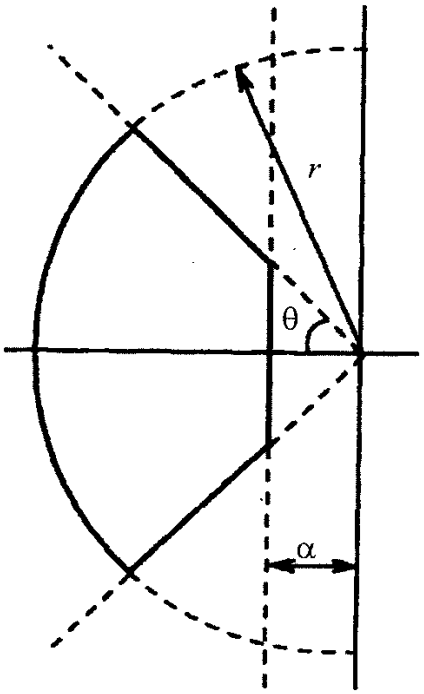


Рис. 2. Область $S(\alpha,r,\theta)$ для размещения полюсов.

Размещение полюсов в область $S(\alpha,r,\theta)$ гарантирует [4], что переходные процессы в замкнутой системе имеют степень устойчивости не меньше α и колебательность не больше $\mathrm{tg}\theta$. Величина полюсов ограничена сверху константой r.

Задачу многокритериального синтеза закона управления квазилинейной параметрической системой (4) поставим следующим образом. Найти регулятор в форме полной обратной связи по состоянию

$$u(t) = K(\rho(t))\, x(t), \tag{6}$$

такой, что замкнутая система (4), (6) устойчива, удовлетворяет H_∞ критерию (5) и полюса замкнутой системы находятся в области $S(\alpha,r,\theta)$.

Известно [2,3], что решение поставленной задачи можно свести к решению системы линейных матричных неравенств (ЛМН). Эта система ЛМН должна удовлетворяться для всех допустимых значений параметра вектор $\rho(t)$. Так как вектор $\rho(t)$ непрерывен, то система ЛМН получается бесконечномерной. При использовании политопного представления модели (4) бесконечномерную систему ЛМН можно уменьшить до конечного множества ЛМН.

Пусть значения параметров принадлежат диапазонам

$$\rho_{j\min} \le \rho_j \le \rho_{j\max},\ j = 1, 2, \ldots, l,\ l=2m. \tag{7}$$

Тогда вектор параметров $\rho(t)$ изменяется внутри гиперпараллелепипеда пространства R^l с $N = 2^l$ вершинами Π_i, $i = 1, 2, \ldots, N$. Матричным политопом [5] называют выпуклую оболочку конечного числа матриц A_i одинаковой размерности. Политопное представление линейной параметрической модели (4) внутри гиперпараллелепипеда (7) имеет вид [5]

$$\begin{cases} \dot{x} = \left(\sum_{i=1}^{N} \alpha_i A_i\right) x + Bu + Bw, \\ z = Cx + D_1 u + D_2 w, \end{cases} \tag{8}$$

где $\sum_{i=1}^{N} \alpha_i = 1$, $\alpha_i(t) \ge 0$, $A_i = A(\Pi_i)$ – значение матрицы $A(\rho(t))$ в вершине Π_i политопа. С использованием политопной модели (8) решение поставленной задачи многокритериального синтеза робастного закона управления (6) можно свести к решению следующей конечной системы ЛМН [5]:

$$\begin{bmatrix} YA_i^{\mathrm{T}} + A_iY + Z_i^{\mathrm{T}}B^{\mathrm{T}} + BZ_i & B & YC^{\mathrm{T}} + Z_i^{\mathrm{T}}D_2^{\mathrm{T}} \\ B^{\mathrm{T}} & -\gamma I & D_1^{\mathrm{T}} \\ CY + D_2Z_i & D_1 & -\gamma I \end{bmatrix} < 0. \tag{9}$$

$$A_iY + YA_i^{\mathrm{T}} + BZ_i + Z_i^{\mathrm{T}}B^{\mathrm{T}} + 2\alpha Y < 0, \tag{10}$$

$$\begin{bmatrix} -rY & A_iY + BZ_i \\ YA_i^{\mathrm{T}} + Z_i^{\mathrm{T}}B^{\mathrm{T}} & -rY \end{bmatrix} < 0, \tag{11}$$

$$\begin{bmatrix} N_{11i} & N_{12i} \\ N_{12i} & N_{11i} \end{bmatrix} < 0,\ i = 1, 2, \ldots, N, \tag{12}$$

где $N_{11i} = \left(A_iY + YA_i^{\mathrm{T}} + BZ_i + Z_i^{\mathrm{T}}B^{\mathrm{T}}\right)\sin\theta$, $N_{12i} = \left(A_iY + BZ_i - YA_i^{\mathrm{T}} - Z_i^{\mathrm{T}}B^{\mathrm{T}}\right)\cos\theta$.

Матрицу $K(\rho(t))$ регулятора (6) можно вычислить по формуле

$$K\left(\rho(t)\right) = \sum_{i=1}^{N} \alpha_i K_i, \sum_{i=1}^{N} \alpha_i = 1, \alpha_i \ge 0, \tag{13}$$

где $K_i = Z_iY^{-1}$ – значения матриц коэффициентов регуляторов в вершинах политопа Π_i, $Y = Y^{\mathrm{T}} > 0$ и Z_i, $i = 1, 2, \ldots, N$ – матричные переменные, удовлетворяющие системе ЛМН (9)-(12).

Параметры регулятора (6) зависят от непрерывно изменяющегося вектора параметров $\rho(t)$. Значение вектора $\rho(t)$ вычисляется на основании сигналов датчиков в процессе работы робота. За счет этого в процессе реального времени происходит непрерывная подстройка параметров регулятора, что обеспечивает высокое качество процессов управления.

Приведенная в работе методика реализована в виде набора программ в системе Matlab. Проведенные расчеты по синтезу робастного регулятора и результаты моделирования робота-манипулятора с синтезированным регулятором подтвердили робастность и достаточно высокое качество процессов управления в присутствии параметрических неопределенностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Siciliano B, Sciavicco L., Villani L., Oriolo G.* Robotics. Modelling, planning and control: London: Springer Verlag, 2009.

2 *Briat C.* Linear parameter-varying and time delay systems. Analysis, observation, filtering & control. Berlin: Springer Verlag, 2015.

3 *Баландин Д.В., Коган М.М.* Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств. М.:Физматлит, 2007.

4. *Бесекерский В.А., Попов Е.П.* Теория систем автоматического регулирования. М.:Наука, 1972

5. *Apkarian P., Gahinet P., Becker G.* Self-scheduled H_∞ control of linear parameter-varying systems: a design example // Automatica. 1995. vol. 31, p. 1251 - 1261.

ROBUST CONTROL OF TWO-LINK ROBOT MANIPULATOR

Gubaidullin Shamil

shamil369@yandex.ru

Supervisor: R.N. Faizutdinov, PhD

(Kazan national research technical university-KAI named after A.N. Tupolev, Kazan)

A method of robust controller synthesis for two-link robot manipulator is developed. Using the developed method. the synthesis of the robust control law is performed.

УДК 65.011.56

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ

Евстафьев В.В.

vovkoof@mail.ru

Научный руководитель: А.А. Теперин, ст. преподаватель

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

Аннотация. В данной работе будет рассмотрена тема автоматизации контроля качества электрических контактов, применяемых в различных разъёмах. На данный момент преимущественно применяется органолептический метод определения показателей качества контактов, что является устаревшим и достаточно неточным методом проверки. Используемый метод обнаружения дефектов несет в себе постоянную нагрузку на зрение человека, фаланги пальцев, что несомненно сказывается на здоровье сотрудников, так же несоблюдение технических норм по обустройству помещений, недостаточное освещение, плохая проветриваемость только усугубляет ситуацию, что напрямую влияет на проведенный ими контроль.

Основная часть.

Цель данной работы - построение автоматизированной системы контроля качества электрических контактов.

Объект исследования – установка системы контроля качества электрических контактов.

Построение автоматизированной системы контроля позволяет существенно увеличить производительность, повысить показатели качества, снизить затраты на производство и себестоимость продукта.

Для построения качественной системы стоит подробно разобрать этапы и процессы, которые в ней будут происходить

На первоначальном этапе происходит выгрузка контактов в бункер с целью дальнейшей подачи в систему(установку). Для качественного анализирования необходимо предусмотреть поштучную подачу деталей, в дальнейшем необходимо рассмотреть вероятность слипания двух и более контактов между собой.

Следующим этапом будет перемещение контактов в зону контроля, где будет производиться оценка уровня качества продукции при помощи технического зрения. Данный этап является технически сложным, в нем проверяется значение показателя качества продукции, превышается предельное значение, либо нет. Выпускаемые изделия (в нашем случае электрические контакты) должны удовлетворять комплексным показателем качества продукции, нескольким характеризующим свойствам:

- Качество геометрии профиля;
- Качество геометрии крепежной части;
- Качество гальванического покрытия;

Для более точной оценки качества, мы производим анализирование с двух ракурсов, что позволяет существенно повысить показатели качества. Данную задачу мы решаем путем использования поворотной платформы.

Основные функции машинного зрения:

- Снижение влияния человеческого фактора
- Автоматизирование процесса производства, контроля
- Высокая скорость обработки информации

Визуальный контроль изделий является устаревшим способом определения качества изделия, человек может не заметить или пропустить какие либо дефекты или неточности, что введет к увеличениям издержек производства на бракованную продукцию, здесь имеется множество факторов, которые в той или иной степени влияют на процесс проверки, такие как возраст, усталость, плохое самочувствие, недостаточная проветриваемость и отопление помещения, недостаточная освещённость. Человеку постоянно требуется перерыв на сон, принятие пищи, отдых, машины выполняют свои функции пока не выйдут из строя.

Автоматизирование процесса носить общий характер, позволяет увеличить скорость работы задачи, исключить человеческий фактор и повысить качество выпускаемой продукции.

Скорость обработки визуальной информации у человека ограниченны 24 кадра/секунду, системы машинного зрения способны обрабатывать до 20 000 кадров/секунду, что позволяет существенно увеличить скорость всего конвейера в несколько раз.

Первоначально происходит передача массива информации с матрицы камеры в процессор устройства, где происходит обработка изображения (Рис.1).

Обработка изображения разделяется на два этапа. На первом этапе происходит распознавание в заданной области исследуемого объекта, путем сравнивания с шаблоном (идеальным объектом, Pattern). После того, как объект найден следует следующий этап – Поиск контуров. Обнаружение контуров происходит, опираясь на положение контуров в идеальном объекте.

После получения информации об положении всех контуров на изображении происходит обработка объекта, анализирование расположения, ориентации, размеров и применение выбранных инструментов инспектирования (Рис.1).

Опираясь на результаты обработки формируется результат инспектирования изделия.

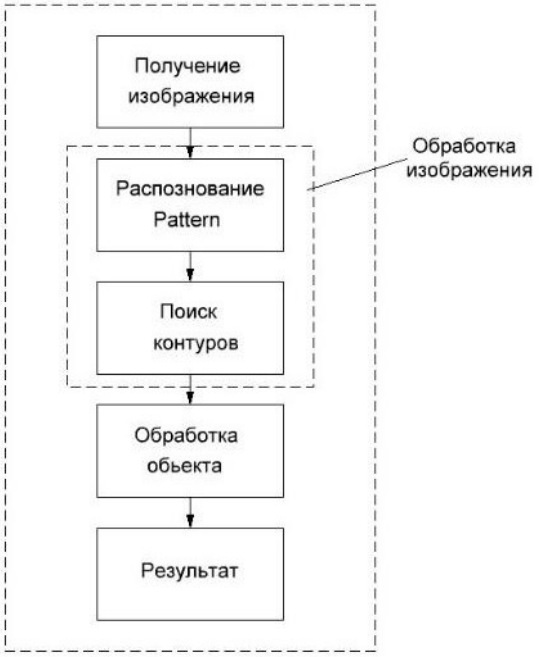


Рис.1 Блок-схема обработки изображения

При разработке необходимо учесть контролируемые дефекты (возможные при использовании In-Sight 2000), такие как:

- Гнутость контакта;
- Повреждение отверстия для запайки провода;
- Слипание двух и более контактов;

При наличии хотя бы одного нарушения необходимо отнести контакт к числу бракованных.

Для поиска и анализирования этих контактов мы будем использовать возможности и инструменты программного обеспечения In-SightExplorer.

На первоначальном этапе нужно задать зону анализирования (Pattern) все дальнейшие операции будут происходить внутри Pattern.

1. Гнутость контактов.

Проверять данный дефект мы будем заданием двух отрезков по разные стороны контакта, допуски по углу отклонения 2 градуса, так же учитываем искажение в 0,5 градусов.

2. Нарушение длины контактов

Данный дефект проверяется так же при помощи двух отрезков на гранях контактов. Размеры контактов в ПО измеряются в пикселях, в нашем случае они составляют порядка

200.000 пикселей, допуски составляют +- 10%.

3. Проверка целостности отверстия для запайки провода.

Необходимость проверки отверстия является необходимостью, так как относиться к категории основных дефектов выбранных к рассмотрению электрических контактов. В заданной области Pattern, задается положение данного отверстия, производиться настройка допустимых отклонений и возможных отклонений.

Дефект с залипанием контактов является особенностью системы, для решения этой проблемы мы воспользуемся инструментом Pixel Count, который позволяет в выбранной области посчитать количество пикселей светлого тона и темного. Для более точной работы этого инструмента необходим контраст контакта на фоне профиля, для этого мы окрашиваем рабочую зону профиля черным, матовым цветом.

В камере присутствует светодиодная подсветка, которая подсвечивает рабочую зону и выделяет контакт.

В совокупности операций на выходы камеры подаются сигналы об результатах инспектирования, на основании которых происходит дальнейшее разделение бракованных и пригодных контактов.

Результаты. Была произведена работа по построению системы контроля качества электрических контактов. При проведении работы была изучена соответствующая литература. Были рассмотрены различные варианты технических решений для каждой из этапов системы и выбраны наиболее подходящие под наши конкретные требования. Так же система конструировалась гибкой, унифицированной, что позволяет при малейших изменениях в строении и программном обеспечении системы произвести настройку на другие изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 15467-79 – 2009 Управление качеством продукции. Основные понятия термины и определения. — Введ. 2009-01-01.— М.: Изд-во стандартов, 2001.— 22 с.

2. Cognes: Программное обеспечение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-sensors/in-sight-2000-vision- sensors (дата обращения: 17.05.2019)

3. Биполярные и униполярные шаговые двигатели [Электронный ресурс]. – Статья. – Режим доступа: http://electroprivod.ru/bipolar.htm

INSTITUTE OF AUTOMATION AND ELECTRONIC INSTRUMENT MAKING

Evstafev V.V.

vovkoof@mail.ru

Supervisor: Teperin A.A, Senior Lecturer

(KNITU-KAI, Kazan)

Abstract. This paper will discuss the topic of automating the quality control of electrical contacts used for various connectors manufactured at Zavod-Elekon JSC. At the time of consideration of this topic at the factory, an organoleptic method is used to determine the quality indicators of contacts, which is outdated and rather inaccurate testing METHOD. The used method of detecting defects carriesaconstant load on a person's vision, phalanxes of fingers, which undoubtedly affects the health of employees, as well as non-observance of technical standards on the arrangement of premises, insufficient lighting, poor airing only aggravates the situation, which directly affects the control theyconducted.

УДК 681.5.01, 681.514

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РУЛЕНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Зельцер А.Г., Терещенко И.П.

exotecknik@yandex.ru, teresch27@gmail.com

Научный руководитель: Верейкин А.А.

ПАО «компания «Сухой», Москва

Обозначена проблема, связанная с влиянием человеческого фактора на безопасность полетов беспилотных летательных аппаратов. Показана актуальность разработки системы автоматического руления беспилотного летательного аппарата по рулежным дорожкам. Рассмотрены примеры реализации подобных систем в автомобильной технике. Проанализирован ряд литературных источников и выявлены исследования, которые могут облегчить дальнейшую разработку и усовершенствование системы автоматического руления беспилотного летательного аппарата. Сформулированы требования к системе, проанализированы возможные способы информационного обеспечения, выявлены их сильные и слабые стороны в части соответствия требованиям. Исходя из предложенных способов, синтезирован метод информационного обеспечения системы автоматического руления. Разработаны алгоритмы формирования информационного обеспечения и автоматического управления БЛА при рулении. Обосновано применение имитационного моделирования с созданием математических моделей в программном комплексе MATLAB, выделены его преимущества и

недостатки. Проведены экспериментальные исследования по реализации математической модели системы автоматического руления беспилотного летательного аппарата с изначальной расстановкой точек - маркеров.

Введение

При эксплуатации современных беспилотных летательных аппаратов (БЛА), существенную часть времени эксплуатации занимает движение по рулежным дорожкам (РД) до взлета и после посадки. Управление БЛА при движении по РД осуществляется оператором в режиме ручного дистанционного управления с использованием информации, получаемой с бортовых видеокамер. Это предполагает наличие определенных трудностей, связанных с управлением: мёртвые зоны, оператор не чувствует габаритов БЛА, ухудшение качества видеоизображения в сложных метеорологических условиях. При этом ручное управление БЛА при движении по РД подчиняется принципу 1 БЛА – 1 оператор, что налагает существенные ограничения на массовое применение БЛА.

По статистике, за последние 15 лет ВВС США, которые на данный момент являются государством, наиболее массово применяющим БЛА в различных военных целях, потеряли около 120 тяжелых БЛА MQ-1 Predator, что составляет почти 50% от числа выпущенных аппаратов. Всего же, по данным Washington Post за 2014 год [1], американские военные потеряли 237 БЛА класса «А», таких как БЛА «Predator», «Reaper» и «Global Hawk». Более того, 67% аварий БЛА «Predator» произошло в связи с «человеческим фактором» – ошибками операторов на различных этапах полета. Экономические потери вследствие этих ошибок составляют порядка 160 млн. долларов, что эквивалентно стоимости около 5 истребителей Су-35.

За последнее десятилетие обозначилась мировая тенденция на повышение значимости БЛА в общей структуре вооруженных сил (ВС), а также придание БЛА роли ударных сил, несущих вооружение и различное дорогостоящее оборудование [2]. Все это приводит к значительному возрастанию как количества БЛА, так и увеличению их стоимости. Соответственно потери среди БЛА становятся все более чувствительными как для боеготовности ВС, так и в экономическом отношении.

Следовательно, для снижения небоевых потерь БЛА необходимо максимально автоматизировать процессы взлета, посадки и движения по РД, свести к минимуму влияние «человеческого фактора» на функционирование эргатической системы типа «беспилотная авиационная система». Для этого необходимо максимально автоматизировать все режимы движения БЛА, в том числе и руление по рулежным дорожкам. Система автоматического руления позволит двигаться по заданной траектории на максимально допустимой скорости, парируя предпосылки к проскальзывания и заносы [3], и учитывая различные возможные препятствия, а также внешние погодные условия и характер взаимодействия с дорожной поверхностью.

Минимизация влияния человеческого фактора, являющаяся одной из задач системы автоматического руления, представляет собой одно из приоритетных направлений развития систем управления ЛА, указанных в форсайте ЦАГИ [4].

Цель и задачи работы

Целью данной работы является разработка и исследование способа автоматического руления БЛА.

Задачами данной работы являются:

- выбор и обоснование основных параметров для технических требований к системе автоматического руления по РД в соответствии с условиями эксплуатации в рамках подготовки проекта Технического Задания;
- анализ уровня техники и технологий, а именно существующих средств информационного обеспечения и различных подходов к формированию алгоритмов автоматического руления, выбор вариантов для дальнейшей проработки;
- проработка структуры системы автоматического руления по РД;

– разработка инструментальных средств имитационного моделирования;

– разработка алгоритмов формирования информационного обеспечения и автоматического руления БЛА;

– оценка алгоритмов автоматического руления БЛА средствами имитационного моделирования.

Система автоматического руления (САР) БЛА при движении по РД (а вместе с ней и способ, лежащий в ее основе) должна отвечать требованиям технического задания в части следующих параметров:

1. Точность позиционирования БЛА.
2. Устойчивость работы в условиях шумовых, световых и электромагнитных воздействий, создаваемых аппаратурой, использующейся на аэродроме.
3. Обеспечение движения БЛА по РД с максимально допустимой скоростью, учитывая состояние поверхности РД.
4. Устойчивая работа в сложных метеоусловиях, а также в условиях неполной очистки дорожек от грязи, воды или снега.
5. Совместимость с наземным оборудованием.
6. Простота в обслуживании для персонала, имеющего квалификацию для обслуживания имеющегося наземного и бортового оборудования.
7. Минимальный вклад в общую стоимость БЛА.
8. Минимальные трудозатраты по установке данной системы.
9. Открытость архитектуры.
10. Минимальное влияние на массогабаритные характеристики БЛА.

Анализ уровня техники и технологий

На данный момент известных реализованных систем, обеспечивающих автоматическое движение ЛА и БЛА по РД, не существует.

Однако имеется успешный опыт разработки систем автономного управления автомобилями. Сейчас существует множество разработок и опытных образцов систем, обеспечивающих автоматическое движение автомобиля по дороге. В задачи автоматических систем движения входит движение непосредственно по дороге с учетом различных факторов, таких как движение других участников дорожного движения (автомобилей, пешеходов), появление на дороге неопознанных объектов, мусора и препятствий, маневры по перестроению и обгону, а также маневры по въезду и выезду автомобиля с парковочного места.

Автомобилем, имеющим одну из наиболее совершенных систем автопилота, является Tesla Model S. Несмотря на требование данной системы к водителю держать руки на руле, данная система способна полностью автономно управлять автомобилем. На данный момент Tesla Model S способен перемещаться на расстояние около 12 м полностью без участия водителя и даже без его присутствия на борту, что является достаточным для любых парковочных операций [5].

Система, необходимая для автоматического управления движением БЛА по РД, имеет общие с системой автономного управления автомобилем черты:

– необходимость получения информации о пространстве вокруг движущегося объекта управления;

– необходимость передвижения из одной точки пространства в другую с учетом ограничений, накладываемых на объект управления внешней средой;

– необходимость идентифицировать объекты в зоне видимости и классифицировать их как препятствие для движения объекта управления;

– необходимость обеспечения автономной работы (без вмешательства оператора) в штатных условиях;

– необходимость обеспечения работы в сложных метеорологических условиях.

Однако система управления БЛА на земле должна иметь большую надежность и защиту от различных помех, а также обеспечивать работоспособность системы в условиях воздействия внешних возмущений, генерируемых специальными техническими средствами противника.

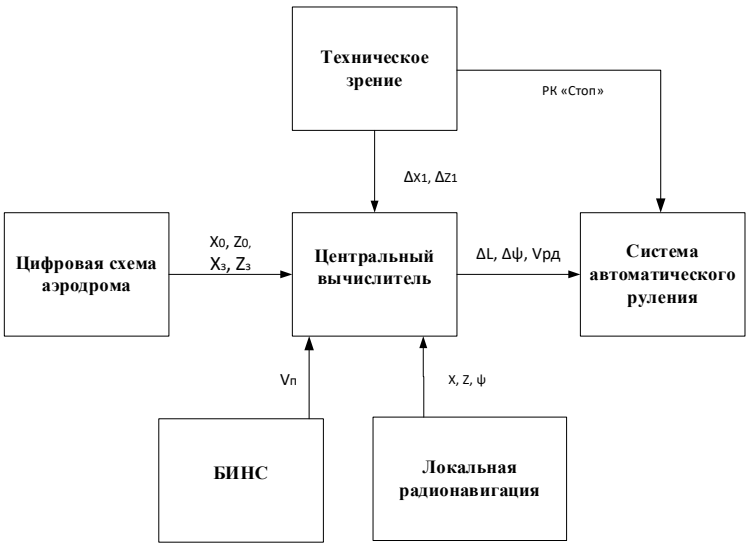
Применяемые методы

Режим автоматического руления БЛА по РД может быть реализован с помощью различных способов информационного обеспечения: техническое зрение (ТЗ) [6] [7] [8] [9], лидар [10] [11] [12], цифровая схема аэродрома (ЦСА), направляющие с концевыми датчиками, ультразвуковые датчики [13], радар [14] [15], спутниковая навигация с дифференциальной коррекцией [16] [17], локальная радионавигация (ЛРН) [18] [19] [20].

Каждый из данных способов имеет свои плюсы и минусы, поэтому, как и в современных действующих системах автопилота у автомобилей, имеет смысл сочетать различные способы позиционирования. Это позволит повысить надежность системы автоматического руления, а также обеспечить помехоустойчивость и целостность ситуативной информации, необходимой для корректного функционирования системы.

Наилучшее сочетание качеств обеспечивает метод, использующий ТЗ, ЛРН и ЦСА. Данный метод обеспечивает позиционирование БЛА с помощью локальной радионавигации и ЦСА, с дополнительным дублированием с помощью визуального ориентирования на местности при помощи маркеров. Необходимое для функционирования оборудование не вносит помех в работу наземного оборудования. Активное противодействие с помощью помех для ЛРН возможно, однако вызывает трудности в силу близкого расположения псевдоспутников и высокой мощности сигнала. Оборудование является многофункциональным и может использоваться не только при автоматическом движении по РД, но и при автоматических взлете и посадке. ЦСА не будет занимать большого объема памяти, на ней не требуется указывать стратегические или секретные объекты, достаточно только заложить в нее схем движения БЛА от РД к ВПП и обратно. ТЗ в данном методе поможет ориентироваться на местности, а также определять начало и конец движения по положению определенных ориентиров.

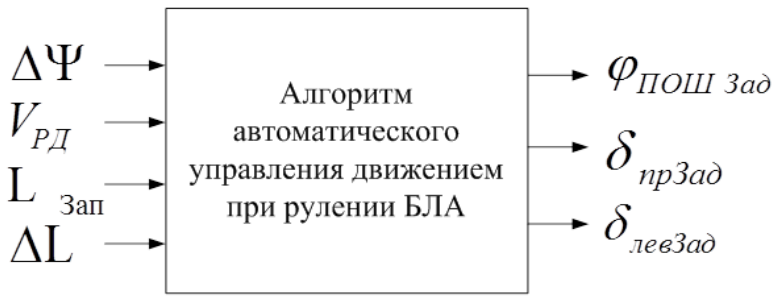
На Рис. 1 представлена принципиальная схема взаимодействия информационного обеспечения автоматического руления БЛА с алгоритмами автоматического управления движением БЛА при рулении. Достаточным условием для выполнения задачи автоматического руления является получение от средств информационного обеспечения данных, необходимых для расчета угла отклонения от заданного направления движения ($\Delta\Psi$), проекции путевой скорости БЛА на направление РД ($V_{РД}$) и расстояния до маркерной точки (ΔL). В свою очередь, эти параметры вычисляются в центральном вычислителе на основании данных полученных от ТЗ, СНС и ЦСА (линейные отклонения от маркерной точки – от ТЗ, текущие координаты и путевой угол БЛА – от СНС, координаты маркерных точек – от ЦСА).



Xo, Zo – координаты маркеров системы технического зрения;
Xз, Zз – координаты точек маршрута, построенного на цифровой схеме аэродрома;
X, Z – координаты БЛА;
Ψ – путевой угол БЛА;
Ψз – заданный путевой угол;
Vз – заданная скорость;
ΔL – расстояние до маркерной точки;
ΔΨ – угол отклонения от заданного направления движения,
$V_{п}$ – путевая скорость БЛА;
$V_{РД}$ – проекция путевой скорости БЛА на направление РД.

Рис. 1. Принципиальная схема взаимодействия информационного обеспечения с системой автоматического руления

На Рис. 2 представлен алгоритм автоматического управления движением БЛА при рулении. В данном алгоритме реализован способ управления движения БЛА в боковом канале как путем разворота колес передней опоры шасси, так и дифференциальным торможением колес основных опор шасси.



ΔL – расстояние до маркерной точки остановки;
$L_{зап}$ – запас по длине перед препятствием;
ΔΨ – угол отклонения от заданного направления движения;
$V_{РД}$ – проекция путевой скорости БЛА на направление РД;
$\varphi_{ПОШ\ зад}$ – заданный угол отклонения колес передней опоры;
$\delta_{прЗад}$ – заданный угол обжатия правой тормозной площадки;
$\delta_{левЗад}$ – заданный угол обжатия левой тормозной площадки.

Рис. 2. Входные и выходные данные к алгоритму автоматического управления движением БЛА при рулении

Инструментальные средства имитационного моделирования

Проверка разработанных технических решений выполнена с применением метода имитационного моделирования на специально разработанном комплексе имитационного моделирования (КИМ). КИМ, включающий в себя модель движения БЛА по РД и модель алгоритмов управления БЛА, реализован в модуле Simulink программного комплекса MATLAB. Имитационная модель САР БЛА, реализованная в КИМ состоит из модели расчета расстояний и углов и модели системы автоматического руления.

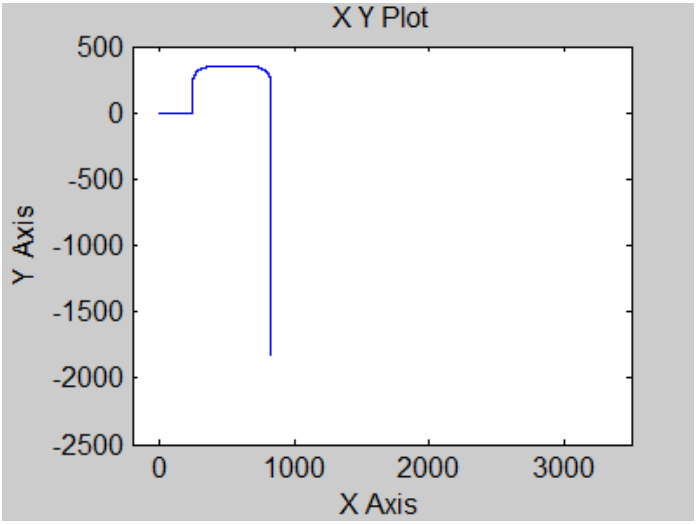


Рис. 3. Траектория движения БЛА по заданным точкам

Заключение

В настоящей работе были получены следующие **основные результаты:**

– с помощью анализа литературы были выбраны и обоснованы, с учетом эксплуатации, основные параметры в части функционала, точности и стоимости для технических требований к САР РД;

– на основании проведенного анализа литературы и трендов был подвергнут анализу уровень техники и технологий, в части существующих на данный момент средств информационного обеспечения;

– в процессе формирования концептуального облика метода информационного обеспечения, создаваемого с помощью элементов SWOT-анализа и морфологического анализа, при помощи экспертного мнения, были выбраны наиболее подходящие для работы системы средства информационного обеспечения, а также распределены их зоны ответственности;

– с помощью программного комплекса MATLAB созданы инструментальные средства имитационного моделирования, и с их помощью проведена оценка разработанных алгоритмов формирования информационного обеспечения, подтверждающая их работоспособность.

Результаты, полученные в работе, должны быть использованы при разработке Технического задания на систему автоматического руления БЛА. Данная система найдет широкое применение при массовом использовании БЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Washington post. Drone crash database. E.Chow, A.Cuadra, C.Whitlock. 20 июня, 2014. Режим доступа https://www.washingtonpost.com/graphics/national/drone-crashes/database/?noredirect=on (дата обращения 05.11.2018)

2. Яцук К.В., Стафеев М.С., Казаринов С.В. Применение беспилотных летательных аппаратов в локальных конфликтах и войнах // Молодой ученый. 2016. №25. С. 107-111. Режим доступа https://moluch.ru/archive/129/35666 (дата обращения: 24.12.2018).

3. Смирнов И.А. Математическое моделирование заноса автомобиля: Дис. … канд. техн. наук МехМат МГУ. 2010.

4. Форсайт развития авиационной науки и технологий до 2030 г. и дальнейшую перспективу (ФГУП ЦАГИ, 2012 г.).

5. Автопилот Тесла-самая продвинутая из современных систем на рынке. 4 апреля 2016. Режим доступа http://www.1gai.ru/publ/516653-avtopilot-tesla-samaya-prodvinutaya-iz-sovremennyh-sistem-na-rynke.html (Дата обращения 28.11.18)

6. Соколов С.М. Богуславский А.А. Федоров Н.Г. Виноградов П.В., Система технического зрения для информационного обеспечения автоматической посадки и движения по ВПП летательных аппаратов// известия ЮФУ. Технические науки. 2015. С. 96-109.

7. Смолин С.В. Соколов С.М., Успехи и пути развития теории и практики применения нейросетей глубокого обучения в задачах обработки изображений применительно к бортовым системам информационного обеспечения мобильных средств// Научно-техническая конференция Техническое зрение в системах управления 2017, тезисы. С. 91-92.

8. Соколов С.М., Богуславский А.А., Каркас ПО для унифицированной разработки алгоритмического обеспечения ТЗ с несколькими полями зрения// Научно-техническая конференция Техническое зрение в системах управления 2017, тезисы. С.44-46.

9. Гурьева М.Н. Обнаружение и слежение за объектом на основе совместного использования алгоритмов Виолы-Джонса и анализа траекторий// материалы 23-й международной конференции по технической графике и зрению. 2013. С. 280-281.

10. Лидар. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Лидар (Дата обращения 14.01.18).

11. Зачем нужен лидар? Режим доступа: https://ain.ua/special/zachem-nuzhen-lidar (Дата обращения 14.01.18).

12. Разработан недорогой лидар большой мощности. Режим доступа: http://www.cnews.ru/news/top/razrabotan_nedorogoy_lidar_bolshoy_dalnosti(Дата обращения 14.01.18).

13. Ультразвуковой датчик расстояния. Режим доступа: https://www.drive2.ru/b/461836116425704391 (Дата обращения 14.01.18).

14. Long-Distance Car Radar. Режим доступа: https://spectrum.ieee.org/transportation/advanced-cars/longdistance-car-radar (Дата обращения 14.01.18).

15. Арефьев Р.О. Повышение точности ГЛОНАСС: Дис. … канд. техн. наук МГТУ ГА. 2017.

16. GPS vs ГЛОНАСС: какая система лучше. Режим доступа: https://gpsmarker.ru/info/blog/gps-vs-glonass-kakaya-sistema-luchshe.html
(Дата обращения 14.01.18).

17. И.В. Нигруца, А.В. Гребенников, М.Ю. Казанцев система посадки по сигналам псевдоспутников // Вестник Сибирского государтсвенного аэрокосмического университета имени академики М.Ф. Решетнева. 2012. С.96-99.

18. ООО ВедаПроект, проекты, «проект «псевдоспутник»

19. Вопросы аэронавигации. Режим доступа http://www2.icao.int/en/home/default.aspx (дата обращения 02.01.19)

20. Руководство по проектированию аэродромов. Часть 2 – Рулежные дорожки, перроны и площадки ожидания. Издание 4. 2005г. Doc 9157 AN/901

Automatic taxiing of unmanned aerial vehicle

Zeltser A.G., Terechenko I.P.
exotecknik@yandex.ru, teresch27@gmail.com
Scientific adviser: Vereikin A.A.
JSC "Company "Sykhoy", Moscow

The problem associated with the influence of the human factor on the flight safety of unmanned aerial vehicles is indicated. The relevance of developing an automatic taxiing system for an unmanned aerial vehicle along taxiways is shown. Examples of the implementation of such systems in automotive technology. A number of literature sources have been analyzed and studies have been identified that may facilitate the further development and improvement of the automatic taxiing system of an unmanned aerial vehicle. The system requirements are formulated, possible ways of providing information are analyzed, their strengths and weaknesses in terms of compliance are identified. Based on the proposed methods, the method of information support for the automatic taxiing system was synthesized. Developed algorithms for the formation of information support and automatic control of the UAV during taxiing. The use of simulation modeling with the creation of mathematical models in the MATLAB software package is substantiated, its

advantages and disadvantages are highlighted. Experimental studies on the implementation of the mathematical model of the automatic taxiing system of an unmanned aerial vehicle with the initial arrangement of points - markers were carried out.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГУРВИЦА И МЕТОДА ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СИНТЕЗА ОДНООСОНОГО СИЛОВОГО ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА

Зюляева А.К.
hvatkova.anastasiya@mail.ru
Научный руководитель: С.В. Кривошеев, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Рассматривается реализация метода Гурвица и метода частотных характеристик для синтеза одноосного силового гиростабилизатора с помощью прикладного пакета MatLab и его графической среды Simulink. Исследование показывает, что применение данных методов позволяет подобрать оптимальные значения постоянной времени цепи коррекции при использовании различных корректирующих звеньев для устойчивой работы гиростабилизатора.

Для изменения динамических свойств системы с целью улучшения качества процесса управления повышения параметров устойчивости и качества прежде всего необходимо изменить параметры системы наиболее рациональным образом. Если данная задача нерешаема, то производятся структурные изменения САУ, а именно вводятся корректирующие звенья.

Для исследования устойчивости и качества переходного процесса одноосного силового гиростабилизатора (ОСГС) с несколькими типами корректирующих звеньев: апериодическое звено первого и второго порядка, минимально-фазовое и неминимально-фазовое звенья – был использован метод Гурвица и метод частотных характеристик.

Метод Гурвица состоит в следующем: для того, чтобы динамическая система была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы все n главных диагональных миноров определителя Гурвица были положительны, при условии, что все коэффициенты характеристического полинома больше нуля. Эти миноры называются определителями Гурвица. Главным достоинством данного метода является его принципиальная простота. Также критерий Гурвица позволяет определить желаемое значение постоянной времени корректирующих звеньев (КЗ), применяемых в системе. Метод частотных характеристик, или метод ЛАХ и ЛФХ, позволяет определить запасы устойчивости системы автоматического регулирования, а также время переходного процесса и перерегулирование.

Параметры гиростабилизатора и требуемые параметры устойчивости и качества ОСГС представлены в таблице 1 и таблице 2.

Таблица 1.

Параметры одноосного силового гиростабилизатора

J_x, Нмс^2	J_z, Нмс^2	H, Нмс	C_m, Нм/А	C_e, Вс	T, с	R, Ом	$M_{вх}$, Нм	$\beta_у$, угл. мин.	$k_{ДУ}$, В/°
0,0025	0,0005	0,6	0,11	0,11	0,0005	18	0,02	30	0,1

Таблица 2.

Требуемые параметры устойчивости и качества одноосного силового гиростабилизатора

Время регулирования $t_р$, с	Перерегулирование σ, %	Запас устойчивости по амплитуде ΔA, дБ	Запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi$, °
0,2 ÷ 0,3	20 ÷ 30	10 ÷ 14	> 20 ÷ 30

Для исследования устойчивости была использована математическая модель ОСГС на неподвижном основании без учета работы контура управления (датчик моментов не работает) вида:

$$\begin{aligned} &J_X\ddot{\alpha} - H\dot{\beta} + a\dot{\alpha} - qC_m i = M_{\text{В}};\\ &J_Z\ddot{\beta} + H\dot{\alpha} + b\beta = 0;\\ &T\frac{di}{dt} + i + q\frac{C_e}{R}\dot{\alpha} = \frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R}L^{-1}\left(W_{\text{КЗ}}(p)\right)\beta. \end{aligned} \quad (1)$$

Для моделирования системы необходимо составить структурную схему ОСГС, для чего математическую модель должна быть представлена в операторном виде (2) и разрешена относительно старшей производной (3):

$$\begin{aligned} &J_X p\dot{\alpha}(p) - Hp\beta(p) + a\dot{\alpha}(p) - qC_m i(p) = M_{\text{В}}(p);\\ &J_Z\beta(p)p + H\dot{\alpha}(p) + b\dot{\beta}(p) = 0;\\ &Tpi(p) + i(p) + qC_e / R\dot{\alpha}(p) = k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}} / RW_{\text{КЗ}}(p)\beta(p). \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &\dot{\alpha}(p) = \frac{1}{J_X p + 1}\left[M_{\text{В}} + Hp\beta(p) + qC_m i(p)\right];\\ &\dot{\beta}(p) = \frac{-H\dot{\alpha}(p)}{J_Z p + b};\\ &i(p) = \frac{1}{Tp+1}\left[\frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R}W_{\text{КЗ}}(p)\beta(p) - q\frac{C_e}{R}\dot{\alpha}(p)\right]. \end{aligned} \quad (3)$$

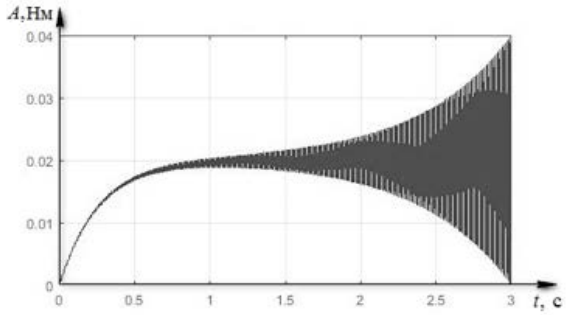


Рисунок 1. Переходный процесс ОСГС без КЗ

Моделирование работы ОСГС было произведено с использованием среды Matlab и ее графической среды Simulink.

Значение коэффициента усиления усилителя стабилизации (УС) $k_{\text{У}}$ определяется из условий статического режима: $Ri = U_{\text{СМ}}$ (4); $M_{\text{В}}^{\max} = qC_m i$ (5). Подставив уравнение (4) в (5), получается выражение для максимального возмущающего момента $M_{\text{В}}^{\max}$, действующего по оси стабилизации: $M_{\text{В}}^{\max} = qC_m U_{\text{СМ}} / R$ (6), где $U_{\text{СМ}} = k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}\beta_{\text{У}}$ (7). Тогда выражение (6) для момента $M_{\text{В}}^{\max}$ запишется как: $M_{\text{В}}^{\max} = qC_m k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}\beta_{\text{У}} / R$ (8). Из уравнения (8) находится значение коэффициента усиления $k_{\text{У}}$: $k_{\text{У}} = M_{\text{В}}^{\max}R / (qC_m k_{\text{ДУ}}\beta_{\text{У}})$ (9).

В случае отсутствия КЗ (т.е. $W_{\text{КЗ}}(p) = 1$) переходный процесс (ПП) гиростабилизатора будет неустойчивым (рисунок 1), а значит, необходимо дополнительно вводить корректирующие звенья. В качестве корректирующих звеньев были выбраны такие типовые звенья, как: апериодическое звено I порядка $W_{\text{КЗ}}(p) = \frac{1}{Tp+1}$; апериодическое звено II

порядка $W_{\text{КЗ}}(p)=\frac{1}{(T_1p+1)(T_2p+1)}$; минимально-фазовое звено $W_{\text{КЗ}}(p)=\frac{T_1p+1}{T_2p+1}$; неминимально-фазовое звено $W_{\text{КЗ}}(p)=\frac{1-Tp}{1+Tp}$.

Исследование устойчивости было проведено при условии, что постоянная времени привода не оказывает влияние на систему, то есть $T=0$. Данный вариант является наиболее простым, так как при отсутствии постоянной времени привода порядок системы будет меньше на один, что упрощает синтез системы регулирования.

Алгоритм исследования: 1) передаточная функция КЗ; 2) математическая модель ОСГС с КЗ; 3) характеристический определитель математической модели; 4) коэффициенты характеристического полинома; 5) определитель Гурвица и его главные диагональные миноры; 6) условие устойчивости и его проверка в диапазоне значений постоянной времени цепи коррекции (с помощью Microsoft Excel); 7) параметры устойчивости, графики переходного процесса, ЛАХ и ЛФХ.

1. Апериодическое корректирующее звено первого порядка.

1) $$W_{\text{КЗ}}(p)=\frac{1}{T_kp+1}.$$

$$\begin{aligned}&J_X p\dot{\alpha}(p)-Hp\beta(p)+a\dot{\alpha}(p)-qC_m i(p)=M_{\text{В}}(p);\\&J_Z\dot{\beta}(p)p+H\dot{\alpha}(p)+b\dot{\beta}(p)=0;\end{aligned}\tag{10}$$

2) $$i(p)+qC_e/R\dot{\alpha}(p)=k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}/(R(T_kp+1))\beta(p).\tag{11}$$

Для применения метода Гурвица система (11) преобразовывается к виду:

$$\begin{aligned}&(J_X p+a)\dot{\alpha}(p)-Hp\beta(p)-qC_m i(p)=M_{\text{В}}(p);\\&H\dot{\alpha}(p)+(J_Z p^2+bp)\beta(p)=0;\\&qC_e/R(T_kp+1)\dot{\alpha}(p)-k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}/R\beta(p)+(T_kp+1)i(p)=0.\end{aligned}\tag{12}$$

3) $$\Delta(p)=\begin{vmatrix}J_X p+a & -Hp & -qC_m\\ H & J_Z p^2+bp & 0\\ qC_e/R(T_kp+1) & -k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}/R & T_kp+1\end{vmatrix}\tag{13}$$

Так как $a=b=0$, определитель (13) преобразуется к виду:

$$\Delta(p)=\begin{vmatrix}J_X p & -Hp & -qC_m\\ H & J_Z p^2 & 0\\ qC_e/R(T_kp+1) & -k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}/R & T_kp+1\end{vmatrix}\tag{14}$$

$$\begin{aligned}\Delta(p)&=J_X J_Z p^3(T_kp+1)+qC_mH\frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R}+q^2\frac{C_eC_m}{R}J_Z p^2(T_kp+1)+H^2p(T_kp+1)=\\&=J_X J_Z T_k p^4+\left(J_X J_Z+q^2\frac{C_eC_m}{R}J_Z T_k\right)p^3+\left(q^2\frac{C_eC_m}{R}J_Z+H^2T_k\right)p^2+H^2p+qC_mH\frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R}\\&\Delta(p)=a_0p^4+a_1p^3+a_2p^2+a_3p+a_4,\end{aligned}\tag{15}$$

где $a_0,\ a_1,\ a_2,\ a_3,\ a_4$ - коэффициенты характеристического полинома.

4) $$\begin{aligned}&a_0=J_X J_Z T_k;\\&a_1=J_X J_Z+q^2C_eC_mJ_Z T_k/R;\\&a_2=q^2C_eC_mJ_Z/R+H^2T_k;\\&a_3=H^2;\\&a_4=qC_mHk_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}/R.\end{aligned}\tag{16}$$

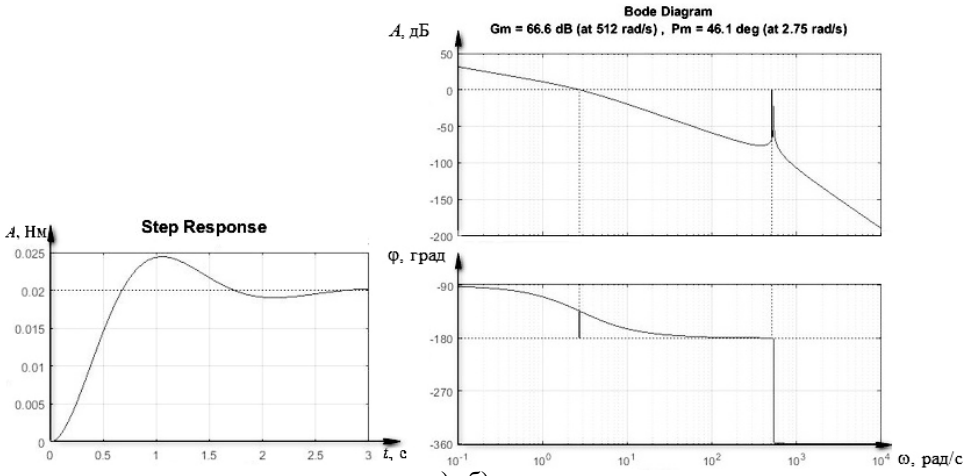
$$\Delta_{\Gamma} = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix},$$

5) (17)

где главные диагональные миноры будут определяться по следующим выражениям:

$$\begin{aligned} &\Delta_1 = a_1; \\ &\Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3; \\ &\Delta_3 = a_1 a_2 a_3 - a_0 a_3^2 - a_1^2 a_4 = a_3 \Delta_2 - a_1^2 a_4; \\ &\Delta_4 = a_4 \Delta_3 \end{aligned} \quad (18)$$

6) $\Delta_4 > 0$ (19)



а) б)

Рисунок 2. а) Переходный процесс ОСГС с апериодическим КЗ I порядка;
б) ЛАХ и ЛФХ ОСГС с апериодическим КЗ I порядка

Условие (19) проверяется для значений $T_k \in [0;1]$ с. В ходе проверки было выявлено, что в данном промежутке все значения постоянной времени цепи коррекции подходят, чтобы условие (19) выполнялось. Поэтому дальнейший выбор параметра T_k был произведен методом подбора в системе Matlab, а также методом частотных характеристик. В результате подбора было выбрано значение постоянной времени $T_k = 0,35$ с.

7) $\Delta A = 66,6$ дБ; $\Delta\varphi = 46,1°$; $t_{\text{Р}} = 1,58$ с; $\sigma = 22\,\%$ (рис. 2)

Полученное значение T_k удовлетворяет двум параметрам качества ОСГС в соответствии с таблицей 2 – запас точности по фазе и перерегулирование. При использовании апериодического звена I порядка в качестве КЗ видано, что при уменьшении значения постоянной времени время регулирования сокращается, но запасы по амплитуде и фазе выходят за пределы необходимых значений, а перерегулирование уменьшается.

2. Апериодическое корректирующее звено второго порядка.

$$W_{\text{КЗ}}(p) = \frac{1}{(T_{k1}p + 1)(T_{k2}p + 1)}$$

1) (20)

$$\begin{aligned}
&J_X p\dot{\alpha}(p) - Hp\beta(p) + a\dot{\alpha}(p) - qC_m i(p) = M_{\text{В}}(p);\\
&J_Z\dot{\beta}(p)p + H\dot{\alpha}(p) + b\dot{\beta}(p) = 0;\\
&i(p) + q\frac{C_e}{R}\dot{\alpha}(p) = \frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R}\frac{1}{(T_{k1}p+1)(T_{k2}p+1)}\beta(p).
\end{aligned} \quad 2) \quad (21)$$

Для применения метода Гурвица система (21) была преобразована к виду:

$$\begin{aligned}
&(J_X p + a)\dot{\alpha}(p) - Hp\beta(p) - qC_m i(p) = M_{\text{В}}(p);\\
&H\dot{\alpha}(p) + (J_Z p^2 + bp)\beta(p) = 0;\\
&qC_e / R(T_{k1}p+1)(T_{k2}p+1)\dot{\alpha}(p) - k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}} / R\beta(p) + (T_{k1}p+1)(T_{k2}p+1)i(p) = 0.
\end{aligned} \quad (22)$$

$$\Delta(p) = \begin{vmatrix} J_X p & -Hp & -qC_m \\ H & J_Z p^2 & 0 \\ qC_e / R(T_{k1}p+1)(T_{k2}p+1) & -k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}} / R & (T_{k1}p+1)(T_{k2}p+1) \end{vmatrix} \quad 3) \quad (23)$$

$$\begin{aligned}
&\Delta(p) = J_X J_Z p^3 (T_{k1}p+1)(T_{k2}p+1) + qC_m H\frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R} + q^2\frac{C_e C_m}{R}J_Z p^2 (T_{k1}p+1)(T_{k2}p+1) +\\
&+H^2 p(T_{k1}p+1)(T_{k2}p+1) = J_X J_Z T_{k1}T_{k2}p^5 + \left(J_X J_Z (T_{k1}+T_{k2}) + q^2\frac{C_e C_m}{R}J_Z T_{k1}T_{k2}\right)p^4 +\\
&\left(J_X J_Z + q^2\frac{C_e C_m}{R}J_Z (T_{k1}+T_{k2}) + H^2 T_{k1}T_{k2}\right)p^3 + \left(H^2(T_{k1}+T_{k2}) + q^2\frac{C_e C_m}{R}J_Z\right)p^2 +\\
&+H^2 p + qC_m H\frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R} = a_0 p^5 + a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p + a_5.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&a_0 = J_X J_Z T_{k1}T_{k2};\\
&a_2 = J_X J_Z + q^2 C_e C_m J_Z (T_{k1}+T_{k2}) / R + H^2 T_{k1}T_{k2k};\\
&a_3 = H^2(T_{k1}+T_{k2}) + q^2 C_e C_m J_Z / R;\\
&a_4 = H^2;\\
&a_5 = qC_m H k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}} / R.
\end{aligned} \quad 4) \quad (24)$$

$$\Delta_{\Gamma} = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & a_3 & a_5 \end{vmatrix}, \quad 5) \quad (25)$$

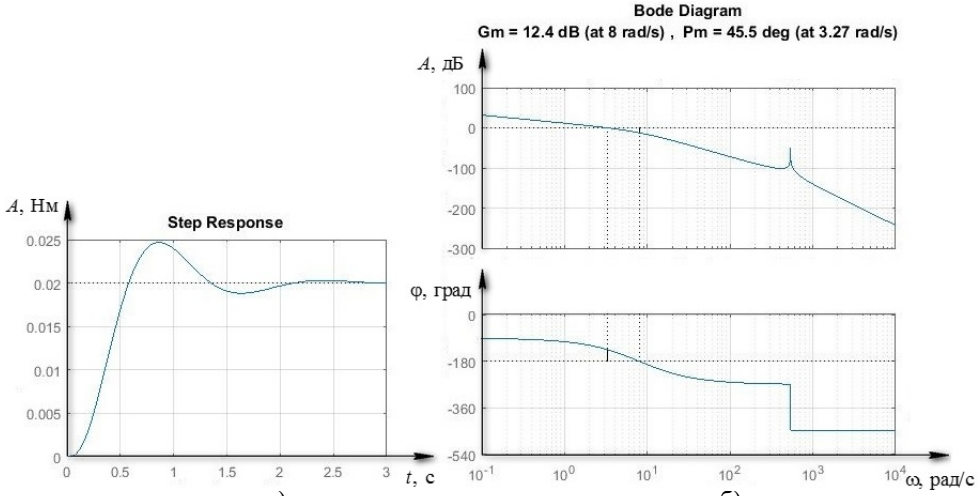
где главные диагональные миноры будут определяться по следующим выражениям:

$$\begin{aligned}
&\Delta_1 = a_1;\\
&\Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3;\\
&\Delta_3 = a_3\Delta_2 + a_1(a_0 a_5 - a_1 a_4);\\
&\Delta_4 = a_4\Delta_3 - a_5(a_2\Delta_2 + a_0(a_0 a_5 - a_1 a_4));\\
&\Delta_5 = a_5\Delta_4.
\end{aligned} \quad (26)$$

$$6) \ \Delta_2 > 0 \ \ \Delta_5 > 0. \quad (27)$$

Данное условие было проверено при $T_{k1} = T_{k2}$ в промежутке $T_{k1}, T_{k2} \in [0;1]$ с. В ходе проверки было выявлено, что условие устойчивости выполняется только на промежутке $T_{k1}, T_{k2} \in [0,0017; 0,523]$ с. Дальнейший выбор параметров T_{k1}, T_{k2} так же был произведен методом подбора и методом частотных характеристик в системе Matlab. В результате были выбраны значения постоянных времени цепи коррекции $T_{k1} = T_{k2} = 0,125$ с.

7) $\Delta A = 12,4$ дБ; $\Delta\varphi = 45,5°$; $t_{\text{Р}} = 1,77$ с; $\sigma = 24$ % (рис. 3).



а) б)

Рисунок 3. а) переходный процесс ОСГС с апериодическим КЗ второго порядка; б) ЛАХ и ЛФХ ОСГС с апериодическим КЗ второго порядка

Полученные значения постоянных времени удовлетворяет всем параметрам качества ОСГС в соответствии с таблицей 2 кроме времени регулирования. Использование апериодического звена второго порядка приводит к обратной зависимости между постоянными времени цепи коррекции и запасами устойчивости по амплитуде и фазе, но к прямой зависимости между T_{k1} и T_{k2} и перерегулированием и временем ПП, что позволяем легко подобрать значения T_{k1} и T_{k2}.

3. Минимально-фазовое корректирующее звено.

$$W_{\text{КЗ}}(p)=\frac{T_{k1}p+1}{T_{k2}p+1}$$

1)
$$\begin{aligned} &J_X p\dot{\alpha}(p)-Hp\beta(p)+a\dot{\alpha}(p)-qC_m i(p)=M_{\text{В}}(p);\\ &J_Z\dot{\beta}(p)p+H\dot{\alpha}(p)+b\dot{\beta}(p)=0;\\ &i(p)+q\frac{C_e}{R}\dot{\alpha}(p)=\frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R}\frac{T_{k1}p+1}{T_{k2}p+1}\beta(p). \end{aligned} \quad (27)$$

2) (28)

Для применения метода Гурвица система (28) была преобразована к виду:

$$\begin{aligned} &\left(J_X p+a\right)\dot{\alpha}(p)-Hp\beta(p)-qC_m i(p)=M_{\text{В}}(p);\\ &H\dot{\alpha}(p)+\left(J_Z p^2+bp\right)\beta(p)=0;\\ &qC_e/R\left(T_{k2}p+1\right)\dot{\alpha}(p)-k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}/R\left(T_{k1}p+1\right)\beta(p)+(T_{k2}p+1)i(p)=0. \end{aligned} \quad (29)$$

$$\Delta(p)=\begin{vmatrix} J_X p & -Hp & -qC_m\\ H & J_Z p^2 & 0\\ qC_e\left(T_{k2}p+1\right)/R & -k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}\left(T_{k2}p+1\right)/R & T_{k1}p+1 \end{vmatrix}$$

3) (30)

$$\begin{aligned} &\Delta(p)=J_X J_Z p^3\left(T_{k2}p+1\right)+qC_m H\frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R}\left(T_{k1}p+1\right)+q^2\frac{C_eC_m}{R}J_Z p^2\left(T_{k2}p+1\right)+\\ &+H^2 p\left(T_{k2}p+1\right)=J_X J_Z T_{k2}p^4+\left(J_X J_Z+q^2\frac{C_eC_m}{R}J_Z T_{k2}\right)p^3+\left(H^2T_{k2}+q^2\frac{C_eC_m}{R}J_Z\right)p^2+\\ &+\left(H^2+qC_m H\frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R}T_{k1}\right)p+qC_m H\frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R}=a_0p^4+a_1p^3+a_2p^2+a_3p+a_4. \end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
&a_0 = J_X J_Z T_{k2};\\
&a_1 = J_X J_Z + q^2 C_e C_m J_Z T_{k2} / R;\\
&a_2 = H^2 T_{k2} + q^2 C_e C_m J_Z / R;\\
&a_3 = H^2 + q C_m H k_{\text{ДУ}} k_{\text{У}} T_{k1} / R;\\
&a_4 = q C_m H k_{\text{ДУ}} k_{\text{У}} / R.
\end{aligned}
\quad 4) \qquad (31)
$$

5) Аналогично апериодическому звену первого порядка.

6) Аналогично апериодическому звену первого порядка.

Условие устойчивости проверено при $T_{k1} = 0,01$ и T_{k2} в промежутке $T_{k2} \in [0;1]$ с. В результате установлено, что условие устойчивости выполняется на промежутке $T_{k2} \in [0,003;0,1]$ с. Методом подбора уточняется значение постоянной времени T_{k2}. В результате подбора было выбрано значение постоянной времени цепи коррекции $T_{k2} = 0,125$ с.

7) $\Delta A = 10,9$ дБ; $\Delta\varphi = 40,9°$; $t_{\text{Р}} = 2,8$ с; $\sigma = 28$ % (рис. 4).

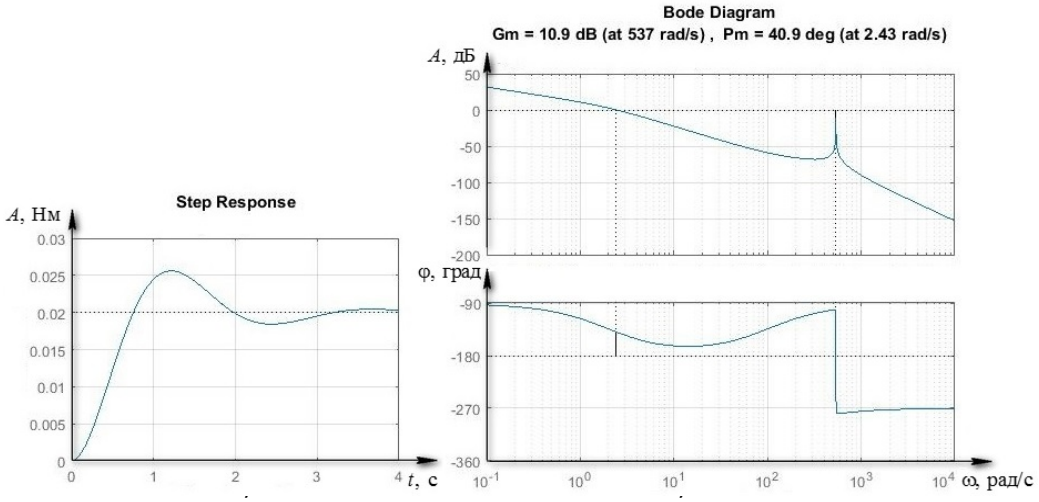


Рисунок 4. а) переходный процесс ОСГС с минимально-фазовым КЗ;
б) ЛАХ и ЛФХ ОСГС с минимально-фазовым КЗ

Полученные значения постоянных времени удовлетворяет всем параметрам качества ОСГС в соответствии с таблицей 2 кроме времени регулирования. При использовании минимально-фазового звена при полученных значениях постоянных времени цепи коррекции T_{k1} и T_{k2} наблюдается обратная зависимость между значением T_{k2} и запасом устойчивости по фазе, но к прямой зависимости между T_{k2} и запасом устойчивости по амплитуде, перерегулированием и временем ПП.

4. Неминимально-фазовое корректирующее звено.

$$
1)\quad W_{\text{КЗ}}(p) = \frac{1 - T_k p}{1 + T_k p} \qquad (32)
$$

$$
\begin{aligned}
&J_X p\dot{\alpha}(p) - Hp\beta(p) + a\dot{\alpha}(p) - qC_m i(p) = M_{\text{В}}(p);\\
&J_Z \beta(p) p + H\dot{\alpha}(p) + b\dot{\beta}(p) = 0;\\
&i(p) + q\frac{C_e}{R}\dot{\alpha}(p) = \frac{k_{\text{ДУ}} k_{\text{У}}}{R}\frac{1 - T_k p}{1 + T_k p}\beta(p).
\end{aligned}
\quad 2) \qquad (33)
$$

Математическую модель (33) была изменена под использование критерия Гурвица к виду:

$$\begin{aligned}
&\left(J_X p + a\right)\dot{\alpha}(p) - Hp\beta(p) - qC_m i(p) = M_{\text{В}}(p);\\
&H\dot{\alpha}(p) + \left(J_Z p^2 + bp\right)\beta(p) = 0;\\
&q\frac{C_e}{R}\left(1+T_k p\right)\dot{\alpha}(p) - \frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R}\left(1-T_k p\right)\beta(p) + (1+T_k p)i(p) = 0.
\end{aligned} \tag{34}$$

3)
$$\Delta(p) = \begin{vmatrix} J_X p & -Hp & -qC_m \\ H & J_Z p^2 & 0 \\ qC_e\left(1+T_k p\right)/R & -k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}\left(1-T_k p\right)/R & 1+T_k p \end{vmatrix} \tag{35}$$

$$\Delta(p) = J_X p J_Z p^2 (1+T_k p) + q\frac{C_e}{R}\left(1+T_k p\right) J_Z p^2 qC_m + qC_m H\frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R}\left(1-T_k p\right) + H^2 p(1+T_k p) =$$

$$= J_X J_Z T_k p^4 + \left(J_Z q^2 T_k \frac{C_e C_m}{R} + J_X J_Z\right)p^3 + \left(J_Z q^2 \frac{C_e C_m}{R} + H^2 T\right)T_k p^2 + \left(H^2 - qC_m H\frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R}T_k\right)p +$$

$$+ qC_m H\frac{k_{\text{ДУ}}k_{\text{У}}}{R} = a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4.$$

4)
$$\begin{aligned}
a_0 &= J_X J_Z T_k;\\
a_0 &= J_X J_Z T_k;\\
a_2 &= H^2 T_k + q^2 C_e C_m J_Z / R;\\
a_3 &= H^2 - qC_m H k_{\text{ДУ}} k_{\text{У}} T_k / R;\\
a_4 &= qC_m H k_{\text{ДУ}} k_{\text{У}} / R.
\end{aligned} \tag{36}$$

1) Аналогично апериодическому звену первого порядка и минимально-фазовому звену.

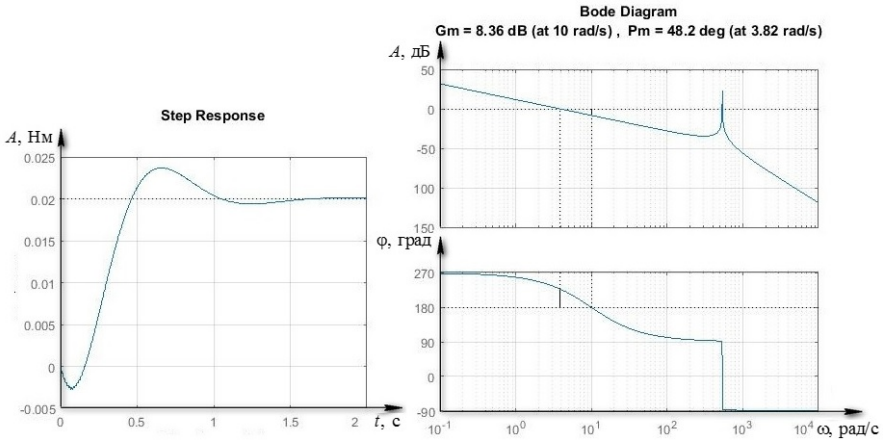
2) Аналогично апериодическому звену первого порядка и минимально-фазовому звену (19), но данное условие можно дополнить следующим неравенством:

$$a_3 = H^2 - qC_m H k_{\text{ДУ}} k_{\text{У}} T_k / R > 0 \tag{38}$$

Так как все коэффициенты характеристического уравнения должны быть положительны, а коэффициент a_3 также может быть и отрицательным, данное условие так же необходимо для проверки устойчивости гиростабилизатора. Итак, на основании неравенства (38) получаем условие: $T_k < \dfrac{HR}{qC_m k_{\text{ДУ}} k_{\text{У}}}$ (39). Подставив параметры из таблицы 1, получаем: $T_k < 0,2618$ с.

Условие (37) было проверено с ограничением в виде неравенства (39) на промежутке $T_k \in [0;0,2618)$ с. В результате было выяснено, что (37) выполняется на промежутке $T_k \in [0,0018;0,2618)$ с. Методом подбора уточняется значение постоянной времени T_k, в результате было выбрано значение постоянной времени цепи коррекции $T_k = 0,1$ с.

3) $\Delta A = 8,36$ дБ; $\Delta\varphi = 48,2°$; $t_{\text{р}} = 0,94$ с; $\sigma = 18,5$ % (рис. 5).



а) б)

Рисунок 5. а) переходный процесс ОСГС с неминимально-фазовым КЗ; б) ЛАХ и ЛФХ ОСГС с неминимально-фазовым КЗ

Полученные значения постоянной времени удовлетворяет только одному параметру качества ОСГС – запасу устойчивости по амплитуде. Но временем регулирования можно пренебречь, так как его можно исправить, откорректировав параметры ОСГС.

Использование минимально-фазового звена при полученном значении постоянной времени цепи коррекции T_k наблюдается обратная зависимость между значением T_k и запасами устойчивости по амплитуде и фазе, но к прямой зависимости между T_k и перерегулированием и временем ПП. При увеличении постоянной времени резко снижаются запасы устойчивости по амплитуде и увеличивается перерегулирование, поэтому подбор T_k, удовлетворяющего всем параметрам качества, трудно подобрать.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы:

1) Каждое КЗ улучшило качество переходного процесса и сделало работу ОСГС устойчивой.

2) Ни одно из типовых звеньев, которые использованных для коррекции работы ОСГС не удовлетворяет всем желаемым параметрам устойчивости и качества, поэтому они могут использоваться либо в паре с таким же звеном, либо другим типовым звеном. Но при этом должно учитываться увеличение порядка системы, что приводит к проблемам с устойчивостью ОСГС.

3) Неминимально-фазовое звено может использоваться в ОСГС как КЗ при условии, что $\sigma \le 10\%$, тогда все параметры устойчивости, кроме времени, корректируемого за счет изменения параметров ОСГС, будут удовлетворять требуемым значениям.

THE APPLICATION OF THE METHOD OF HURWITZ AND METHOD OF FREQUENCY CHARACTERISTICS FOR THE SYNTHESIS OF UNIAXIAL STRENGTH GYROSTABILIZER

Zyulyaeva A.

hvatkova.anastasiya@mail.ru

Supervisor: S. Krivosheev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

The implementation of the Hurwitz method and the frequency response method for the synthesis of uniaxial force gyrostabilizer using the Matlab application package and its Simulink graphical environment is considered. The study shows that the use of these methods allows us to choose the optimal values of the time constant of the correction chain using different correction links for the stable operation of the gyrostabilizer.

УДК 62-503.57

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТНОЙ ПОМПЫ

Идиатуллин Б.М., Абдуллин А.Л.
bul191@yandex.ru
Научный руководитель: Р.Р. Салахов, к. т. н.
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань

Рассмотрена система охлаждения двигателя внутреннего сгорания. Предложен алгоритм работы адаптивной системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания при применении электрической жидкостной помпы.

Современные исследования показывают, что с ростом температуры работы ДВС качество сгорания топлива улучшается. В то же время, приводится исследований, показывающих, что при разных температурах работы ДВС, качество выбросов тех или иных видов газа изменяется [1]. На этом основывается работа адаптивной системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания [2]. Разработки данных систем охлаждения ведутся давно, в основном они основаны на использовании различного рода вязкостных муфт, электродвигателей, однако, большого распространения не получили. Учитывая вышеперечисленные факты, можно сделать вывод, что тема данной работы весьма актуальна [3,4].

Основным элементом системы охлаждения в настоящее время является центробежный насос, или помпа. Помпа осуществляет циркуляцию охлаждающей жидкости по системе охлаждения. Первые системы охлаждения не имели центробежного насоса, а циркуляция охлаждающей жидкости осуществлялась посредством естественной конвекции. Эффективность данной системы охлаждения была низкой, охлаждающая жидкость вскипала, двигатель перегревался и выходил из строя. В связи с этим, со временем система охлаждения перешла от естественной конвекции, к принудительной, циркуляцией охлаждающей жидкости начал управлять насос. В настоящее время, центробежный насос представляет собой систему из крыльчатки, шкивов и ремня, который передает крутящий момент от коленчатого вала к крыльчатке. Таким образом, в современном автомобиле существует жесткая привязка оборотов коленчатого вала и центробежного насоса.

Для управления оборотами, предложено использование электрической жидкостной помпой, обороты которой регулируются ПИД-регулятором.

ПИД – регулятор представляет собой сумму трех регуляторов: пропорционального, интегрального и дифференциального. Регулирования вводится понятие как ошибка рассогласования, представляющая собой разницу текущего значения управляемого параметра от целевого.

Пропорциональная составляющая предназначена для мгновенной реакции на ошибку, для ее уменьшения. В случае, когда ошибка равна нулю, пропорциональная составляющая так же равна нулю. В этом случае воздействие на систему не оказывается и происходит отклонение от требуемой температуры. После этого ошибка становится отличной от нуля, и пропорциональная составляющая продолжает воздействовать на систему до тех пор, пока ошибка снова не станет равной нулю. Таким образом, в системе будут возникать колебания в пределах необходимой температуры.

Интегральная составляющая представляет собой сумму ошибок. Пока система не выйдет на заданную точку, будет происходить приращение аргумента интегрального регулятора. При достижении заданной отметки, приращении становится равным нулю. При этом, при отклонении сумма будет либо расти, либо уменьшаться, для поддержания необходимого значения. Недостаток интегрального регулятора в необходимости ограничивать интервалы его работы. Так же, важно правильно подобрать коэффициент регулирования и частоту опроса данных.

Дифференциальная составляющая прогнозирует поведение системы на основе ее текущего состояния и состояния в предыдущий момент времени. Чем выше разница, тем сильнее регулятор будет влиять на работу системы. Недостаток в чувствительности. В быстроизменяющихся системах дифференциальная составляющая может реагировать на шумы. Так же сильно зависит от частоты опроса датчиков.

Формулы, используемые в работе алгоритма:

1) для режима прогрева двигателя и температуре ОЖ ниже 95°С значение оборотов помпы определяются как:

$$n_{<95} = k \cdot T_{out} \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

T_{out}– текущая температура ОЖ.

2) для основного режима температуре ОЖ выше 95°С значение оборотов помпы определяются функцией вида:

$$n_{>95} = f(T_{out}) \quad (2)$$

в которой значение $f(T_{out})$ находится как:

$$f(T_{out}) = I(t) + D(t) \quad (3)$$

где $I(t)$– интегральная составляющая регулятора, функция от времени.

$D(t)$– дифференциальная составляющая регулятора, функция от времени.

t– текущий момент времени.

Здесь $D(t)$ и $I(t)$являются дифференциальной и интегральной составляющими ПИД-регулятора соответственно, значение которых определяются по формулам:

$$e(t) = T_{out}(t) - 95 \quad (4)$$

$$I(t) = I(t-1) + k_i \cdot e(t) \quad (5)$$

$$D(t) = k_d \cdot (e(t) - e(t-1)) \quad (6)$$

где $e(t)$– функция ошибки, зависящая от температуры (разница текущей температуры от целевой);

k_i –интегральный коэффициент регулятора;

k_d – дифференциальный коэффициент регулятора.

После определения всех параметров системы охлаждения, была смоделирована её работа с учетом управления ПИД-регулятором. В результате были выявлены следующие недостатки:

1. Так как необходимая температура, которую должна поддерживать помпа равняется 95 °С, интегральная составляющая копит в себе отрицательную сумму, что приводит к отрицательным оборотам помпы. При этом, система быстро нагревается, и при достижении отметки в 95 °С «проскакивает» данную точку, что приводит к временному перегреву. При достижении температуры 95 °С, ошибка рассогласования начинает равняться нулю. Так как интегральная составляющая до этого момента времени была отрицательная, температура продолжает расти. После того, как интегральная сумма становится равной нулю, а температура выше 95 °С, сумма начинает расти, до достижения температур 95 °С. При этом, колебания нагрузки и скорости оборотов коленчатого вала отразятся на температуре, что повлияет на интегральную составляющую регулятора. Таким образом, система будет сама себя поддерживать в оптимальном состоянии.

2. Система достаточно инертна, вследствие чего, большой упор на дифференциальную составляющую делать не имеет смысла.

3. Важно определить параметр быстродействия, так как при высокой скорости опроса интегральная сумма будет копиться слишком быстро, а дифференциальная составляющая будет срабатывать на малейшее колебание. При низкой частоте быстродействия дифференциальный параметр напротив, может не заметить изменения или колебания в системе. Интегральный будет выводить систему на рабочую точку слишком долго.

Проблема перегрева решается путем разделения режима работы алгоритма на режим прогрева, и режим поддержания температуры. На режиме прогрева обороты будут изменяться пропорционально росту температуры, чем выше температура, тем выше обороты. При достижении отметки в 95°С включается ПИД регулятор, поддерживая температуру. ПИД регулятор включается один раз, после прогрева. Это необходимо для подержания температуры при ростах и падениях нагрузки и оборотов двигателя. Так же на ПИД регулятор наложены ограничения максимального роста и падения интегральной суммы.

Таким образом, получена система, позволяющая поддерживать температуру ДВС в оптимальном состоянии, увеличив тем самым КПД двигателя, и уменьшив величину вредных выбросов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гаврилов А.К.* Системы жидкостного охлаждения автотракторных двигателей. М. Машиностроение 1966.

2. *Салахов Р.Р., Ямалов Д.Р., Гуреев В.М., Салахов И.Р., Кудусов Д.И.* Численные исследования перспективного подводящего устройства водяного насоса системы охлаждения ДВС // Пятая международная конференция «Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках», 19-22 октября 2015 г, Казань. Из-во: ООО «Свое издательство». С 170-171.

3. *Березин В.В., Хисматуллин Р.М., Смолкин Р.М., Салахов Р.Р.* Улучшения в системе охлаждения дизельного двигателя // Наука и инновации в XXIвеке: актуальные вопросы, достижения и тенденции развития, 28 января 2017, Пенза. Из-во: Наука и просвещение. С 24-26.

4. *Хисматуллин Р.М., Березин В.В., Ахметшина Э.Р., Салахов Р.Р.* Проблема режима прогрева автомобильных двигателей при пуске // Наука и инновации в XXIвеке: актуальные вопросы, достижения и тенденции развития (28 января 2017). Пенза. Из-во: Наука и просвещение. С 38-40.

DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM OF ADAPATIVE COOLING SYSTEM OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE WHEN USING ELECTRIC LIQUID PUMPS

Idiatullin B.M., Abdullin A.L.

bul191@yandex.ru

Scientific adviser: R.R. Salakhov, Ph.D.

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

Abstract: Considered the cooling system of the internal combustion engine. An algorithm for the operation of an adaptive cooling system for an internal combustion engine using an electric fluid pump has been proposed.

УДК 629.78:351.814.3

НЕПРЕРЫВНЫЕ УПРАВЛЕНИЯ С АСИМПТОТИЧЕСКИМ ПРИВЕДЕНИЕМ СИСТЕМ В СКОЛЬЗЯЩИЕ РЕЖИМЫ ПРИ ВОЗМУЩЕНИЯХ

Каратаева М.В.

marina_karataeva@mail.ru

Научный руководитель: А.С. Мещанов, к.т.н., с.н.с.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, Казань

Разработаны три метода синтеза векторных управлений непрерывных по асимптотическому приведению систем на многообразия скользящих режимов с уменьшением установившихся амплитуды и частоты колебаний самого управления, а также с регулированием данных параметров. Методы основаны на задании в управлениях: в первом управлении, нулевых значений его разрывных параметров в номинальной составляющей управления; во втором управлении, векторной производной функций переключений многообразия скольжения; в

третьем управлении, регулирования установившихся колебаний самого управления с уменьшением его амплитуды и частоты до нулевых значений во избежание их возможного негативного воздействия на исполнительные и другие элементы системы.

Введение

Предлагаемые управления с асимптотическим приведением систем в скользящие режимы уменьшают или устраняют неприемлемые установившиеся параметры колебаний управлений при возмущениях для систем инвариантных к ним [1].

Синтезируются три метода непрерывных управлений приведения систем в скользящий режим. В исходных системах уравнений условия инвариантности [1] выполняются и компенсация возмущений реализуется [2]. Данные управления могут действовать и в гибридных вариантах: с применением в начальной большой окрестности многообразия скольжения и в малой заданной.

Постановка задачи

Требуется получить три метода синтеза векторных непрерывных управлений, приводящих многомерные системы управления с нелинейными и линейными объектами в скользящие режимы с асимптотическим приведением изображающей точки (и.т.) на многообразие скольжения, а также метод регулирования установившихся параметров колебаний управлений для линейных объектов.

Синтез непрерывного векторного управления по первому методу

Рассматривается система с нелинейным нестационарным объектом

$$\dot{x} = f(x,t,u), \qquad f(x,t,u) = f_0(x,t,u) + \Delta f(x,t,u), \tag{1}$$

где $x = (x_1,...,x_n)^T$, $u = (u_1,...,u_m)^T$ – векторное управление, $f = (f_1,...,f_n)^T$, f_i - функции, непрерывные по x,t,u, $i = \overline{1,n}$. Для каждой составляющей u_j управления u вводятся функции $s_j = s_j(x,t)$ и поверхности $S_j(s_j(x,t) = 0)$ переключений ее структур, $j = \overline{1,m}$. Предполагается, что вектор неопределенных ограниченных возмущений $\Delta f(x,t,u)$ удовлетворяет условиям инвариантности (линейно зависим со столбцами матрицы входа управления u в векторе $f_0(x,t,u)$ [1]) системы (1) в скользящем режиме на многообразии скольжения

$$S(s(x,t) = 0), \qquad s(x,t) = (s_1,...,s_m)^T. \tag{2}$$

В этом случае система уравнений скользящего режима не зависит от этого вектора $\Delta f(x,t,u)$ и имеет размерность равную $(n-m)$, а качество переходных процессов в скольжении определяется заданием функций $s_j = s_j(x,t)$, $j = \overline{1,m}$.

Управление u по методу работы [3] при $\Delta f(x,t,u) \equiv 0$ находится в виде

$$u_j = u_{0j} = u_{0j+}(x,t) \text{ при } s_j g_j > 0, \quad u_j = u_{0j} = u_{j-}(x,t) \text{ при } s_j g_j \le 0, \quad j = \overline{1,m}, \tag{3}$$

где g_j -вспомогательные функции переключений структур управления, а составляющие u_{0j} находятся из условия, что выполняется равенство

$$\dot{s}_{j\pm} = \kappa^{\pm}_{g_j}(x,t)\varphi_j(g_j,x,t) + \kappa^{\pm}_{s_j}(x,t)\psi_j(s_j,x,t)$$

с функциями $\kappa^{\pm}_{g_j}$, $\kappa^{\pm}_{s_j}$, переключаемыми по алгоритму (3), или из условия

$$\dot{s}_{j\pm} = \kappa^{\pm}_{g_j}(x,t)\varphi_j(s_j,g_j,x,t) + \kappa^{\pm}_{s_j}(x,t)\psi_j(s_j,g_j,x,t), \tag{4}$$

где $\varphi_j(s_j,g_j,x,t) = 0$ при $g_j(x,t) = 0$; $\psi_j(s_j,g_j,x,t) = 0$ при $s_j(x,t) = 0$, $\kappa^{\pm}_{g_j}(x,t) \ne 0$, и, в частности, производных $\dot{s}_{j\pm}$ вида

$$\dot{s}_{j\pm} = \kappa^{\pm}_{g_j}(x,t)g_j(x,t) + \kappa^{\pm}_{s_j}(x,t)s_j(x,t). \tag{5}$$

В случаях (4), (5) получаем соответственно системы по $2m$ нелинейных уравнений для определения структур составляющих $u_{j\pm}$, $j = \overline{1,m}$, управления u:

$$\kappa^{\pm}_{g_j}(x,t)\varphi_j(s_j,g_j,x,t)+\kappa^{\pm}_{s_j}(x,t)\psi_j(s_j,g_j,x,t)=(\text{grad}\, s_j(x,t))^T f(x,t,(u_1,...,u_{j\pm},...,u_m)^T)+\partial s_j/\partial t;$$
$$\kappa^{\pm}_{g_j}(x,t)g_j(x,t)+\kappa^{\pm}_{s_j}(x,t)s_j(x,t)=(\text{grad}\, s_j(x,t))^T f(x,t,(u_1,...,u_{j\pm},...,u_m)^T)+\partial s_j/\partial t,\ \ j=\overline{1,m}. \quad (6)$$

Предполагается, что решения систем (6) существуют в некоторой области $(x,t)\subset\Omega\times T,\ T=[t_0,\infty)$.

Для приведения системы (1), (2) в скользящий режим на $(n-m)-$мерном многообразии $S(s=(s_1,...,s_m)^T=0)$ достаточно, чтобы функции $\kappa^{\pm}_{g_j}(x,t)$ удовлетворяли неравенствам

$$\kappa^{+}_{g_j}(x,t)\text{sign}[\varphi_j(s_j,g_j,x,t)s_j(x,t)]<0,\ \kappa^{-}_{g_j}(x,t)\text{sign}[\varphi_j(s_j,g_j,x,t)s_j(x,t)]<0,\ \kappa^{+}_{g_j}(x,t)<0,\ \kappa^{-}_{g_j}(x,t)>0,\ j=\overline{1,m}, \quad (7)$$

в силу необходимого и достаточного условия существования скользящего режима

$$\lim_{s_j\to+0}\dot{s}_j<0,\qquad \lim_{s_j\to-0}\dot{s}_j>0,\ \ j=\overline{1,m},$$

а $\kappa^{\pm}_{s_j}(x,t)$ соответственно неравенствам

$$\kappa^{+}_{s_j}(x,t)\text{sign}[\psi_j(s_j,x,t)s_j(x,t)]<0,\ \kappa^{-}_{s_j}(x,t)\text{sign}[\psi_j(s_j,x,t)s_j(x,t)]<0,\ \kappa^{+}_{s_j}(x,t)<0,\ \kappa^{-}_{s_j}(x,t)<0,\ j=\overline{1,m}, \quad (8)$$

находимым в силу достаточных условий попадания и.т. системы на $S(s=(s_1,...,s_m)^T=0)$:

$$\dot{s}_j s_j<0,\quad j=\overline{1,m}. \quad (9)$$

При условии компенсации возмущений для асимптотического приведения системы (1) на многообразие скольжения непрерывное управление u_∞ будет находится при $\kappa^{+}_{g_j}(x,t)=0,\ \kappa^{-}_{g_j}(x,t)=0$ и $\kappa^{+}_{s_j}(x,t)=\kappa^{-}_{s_j}(x,t)<0$ из решений систем (6) по m нелинейным уравнениям для определения структур составляющих $u_{\infty j},\ j=\overline{1,m}$.

В частном случае, когда управление входит линейно, система (1) принимает вид

$$\dot{x}=A(x,t)+B(x,t)u+D(x,t)\Delta f(x,t,u), \quad (10)$$

где $A(x,t)\to 0$ при $x\to 0$, $D(x,t)\Delta f(x,t,u)=\Delta F_{\text{и}}(x,t,u)$ - приведенный вектор неопределенных ограниченных возмущений, удовлетворяющий условию инвариантности

$$D(x,t)\Delta f(x,t,u)=\Delta F_{\text{и}}(x,t,u)=B(x,t)\Lambda(x,t,u). \quad (11)$$

Управление для такой системы согласно условиям (7), (8)

$$\kappa^{+}_{g_j}(x,t)<0,\ \ \kappa^{-}_{g_j}(x,t)>0,\ \ \kappa^{+}_{s_j}(x,t)<0,\ \ \kappa^{-}_{s_j}(x,t)<0,\ \ j=\overline{1,m}, \quad (12)$$

и в силу выполнения условий инвариантности (11) может быть получено в виде суммы

$$u=u_0+u_{\Delta F_{\text{и}}}, \quad (13)$$

в которой u_0 приводит систему (10) на многообразие скольжения с матрицей переменных, и в общем случае зависящих от координат состояния составляющих матриц C, $C(t)$ или $C(x,t)$ многообразия скольжения $S(s(x,t)=0)$ (2). Ограничимся матрицей переменных коэффициентов $C(t)$, тогда согласно равенству выражений производной $\dot{s}$ (5) получаем равенство

$$\dot{s}=K_g g+K_s s=\dot{C}(t)x+C(t)A(x,t)+C(t)B(x,t)u+C(t)D(x,t)\Delta f(x,t,u). \quad (14)$$

Так как условия инвариантности (11) для $D(x,t)\Delta f(x,t,u)=\Delta F_{\text{и}}(x,t,u)$ выполняются, то, как доказано в работе [2], необходимые и достаточные условия полной компенсация данного возмущения выполняются. Задавая в управлении u (13) управление $u_{\Delta F_{\text{и}}}$ в виде

$$u_{\Delta F_{\text{и}}}=-(C(t)B(x,t))^{-1}C(t)\Delta F_{\text{и}}(x,t,u) \quad (15)$$

получаем в управлении u, следующем из равенства (14),

$$u=u_0+u_{\Delta F_{\text{и}}}=(C(t)B(x,t))^{-1}[K_g g+K_s s-(\dot{C}(t)x+C(t)A(x,t)+C(t)\Delta F_{\text{и}}(x,t,u))], \quad (16)$$

слагаемое

$$u_0=(C(t)B(x,t))^{-1}(K_g g+K_s s-(\dot{C}(t)x+C(t)A(x,t)), \quad (17)$$

в котором диагональные матрицы K_g и K_s содержат разрывные коэффициенты

$$\kappa_{g_j} = \kappa_{g_j}^{+} < 0 \quad при \quad s_j g_j > 0 \quad \text{и} \quad \kappa_{g_j} = \kappa_{g_j}^{-} > 0 \quad при \quad s_j g_j \le 0, \tag{18}$$

$$\kappa_{s_j} = \kappa_{s_j}^{+} < 0 \quad при \quad s_j g_j > 0 \quad \text{и} \quad \kappa_{s_j} = \kappa_{s_j}^{-} < 0 \quad при \quad s_j g_j \le 0, \tag{19}$$

и слагаемое $u_{\Delta F_и} = -(C(t)B(x,t))^{-1} C(t)\Delta F_и(x,t,u)$ (15), которое в исходной системе (10) компенсирует действие идентифицируемого неопределенного возмущения $\Delta F_и(x,t,u)$ и не проявляется в системе скользящего режима в силу выполнения условия инвариантности (11).

Непрерывным вариантом для управления (16) является задание нулевых значений его разрывным параметрам κ_{g_j} в номинальном управлении u_0 (17) и задание равных отрицательных значений настраиваемым параметрам $\kappa_{s_j}^{+} = \kappa_{s_j}^{-} = \kappa_{s_j} < 0$. В результате при непрерывном возмущении $\Delta F_и(x,t,u)$ формируется непрерывное управление $u_\infty = u_0 + u_{\Delta F_и}$ с асимптотическим приближением и.т. к многообразию скольжения $S(s = C(t)x = 0)$ (2):

$$u_\infty = u_0 + u_{\Delta F_и} = (C(t)B(x,t))^{-1}[K_s s - (\dot{C}(t)x + C(t)A(x,t) + C(t)\Delta F_и(x,t,u))]. \tag{20}$$

Для идентификации неопределенного вектора возмущений $\Delta F_и(x,t,u)$ могут быть применены методы, полученные в работах по известным координатам состояния [4] и в результате применения известного идентификатора состояния при полной информации.

Синтез непрерывного векторного управления по второму методу

Вторым методом непрерывного управления является замена производной $\dot{s} = K_g g + K_s s$ в равенствах (14), (17) заданной векторной производной $\dot{s}_з(t) = (\dot{s}_{1з},...,\dot{s}_{mз})^T$ функций переключений s_j многообразия скольжения $s(x,t) = (s_1,...,s_m)^T = 0$, определяющей качество приведения в скольжение. Действие номинальных и неопределенных ограниченных возмущений, так же, как и в первом методе, компенсируется управлением $u_{\Delta F_и}$ (15). Номинальное управление $u = u_0$ (17) приведения в скольжение на подвижное многообразие $s = C(t)x = 0$ запишется:

$$u = u_0 = (C(t)B(x,t))^{-1}(\dot{s}_з(t) - (\dot{C}(t)x + C(t)A(x,t))). \tag{21}$$

Для построения управления $u = u_0$ уравнение (21) умножается на матрицу $C(t)B(x,t)$:

$$u^* = (u_1^*,...,u_m^*)^T = (\dot{s}_з(t) - (\dot{C}(t)x + C(t)A(x,t))). \tag{22}$$

При заданных производных $\dot{s}_з(t)$ управления u^* (22) и $u = u_0 = (C(t)B(x,t))^{-1}u^*$ (21) известны. Производные $\dot{s}_{jз}(t)$ могут задаваться в составляющих u_j^* управления (22) в виде

$$u_j^* = u_j^{*+}(t), \quad \dot{s}_{jз} = \dot{s}_{jз}^{+}(t) < 0 \quad \text{при} \quad s_{jз} > 0; \quad u_j^* = u_j^{*-}(t), \quad \dot{s}_{jз} = \dot{s}_{jз}^{-}(t) > 0 \quad \text{при} \quad s_j \le 0, \tag{23}$$

где, например,

$$\dot{s}_{jз}^{+}(t) = \kappa_s s_j^k, \; k = 1,3,5,..., \quad \dot{s}_{jз}^{-}(t) = -\kappa_s s_j^k, \; k = 1,3,5,..., \tag{24}$$

и значение модуля $|s_j|$ функции s_j при $|s_j| > 1$ убывает с нарастающим замедлением, а при $|s_j| \le 1$ убывание до нулевых значений $|s_j|$ еще более замедляется до $t \to \infty$. С учетом заданных процессов в скользящем режиме, имеющих нулевые установившиеся координаты состояния $x = (x_1,...,x_n)^T$, получаем одновременно и нулевое установившееся значение непрерывного управления

$$u_\infty = u = u_0 = (C(t)B(x,t))^{-1}(\dot{s}_з(t) - (\dot{C}(t)x + C(t)A(x,t))), \tag{25}$$

в котором заданные производные $\dot{s}_з(t) = (\dot{s}_{1з},...,\dot{s}_{mз})^T$ определяются согласно условиям (23), (24) и $A(x,t) \to 0$ при $x \to 0$.

Синтез непрерывного векторного управлением по третьему методу

Предлагается развитие метода управления для регулирования параметров установившихся колебаний самого управления. Ранее было получено гибридное управление с применением в начале процесса одного из методов разрывного управления для приведения системы в малую окрестность, а затем уже с применением метода непрерывного управления [5]. В отличие от данной работы показано, что применение гибридного управления не обязательно, достаточно использовать выявленные дополнительные возможности непрерывного управления. С этой целью рассматривается сначала метод регулирования колебаний в малой окрестности многообразия скольжения для системы с линейным объектом

$$\dot{x} = A_0 x + B_0(t)u + D_0 F_0(t) + h(t), \tag{26}$$

где $x = (x_1,...,x_n)^T$, $h(t) = \Delta A(t)\,x + \Delta B(t)\,u + D_0\,\Delta F(t) + \Delta D(t)\,F_0(t) + \Delta D(t)\,\Delta F(t)$ – приведенный вектор неопределенных ограниченных возмущений, $A(t) = A_0 + \Delta A(t)$, $B(t) = B_0(t) + \Delta B(t)$, $D(t) = D_0 + \Delta D(t)$, $F(t) = F_0(t) + \Delta F(t)$, $F(t) = (F_1(t),...,F_l(t))^T$; $u = (u_1,...,u_m)^T$ – векторное управление, приводящее систему (26) в скользящий режим на m – мерном многообразии скольжения

$$S(s = Cx = 0), \quad s = (s_1,...,s_m)^T, \quad C - m \times n. \tag{27}$$

Предполагаются выполненными известные условия инвариантности скользящего режима к векторам номинальных $F_0(t)$ и неопределенных $h(t)$ ограниченных возмущений (линейной зависимости столбцов матрицы D_0 и столбца $h(t)$ со столбцами матрицы B_0 входа управления): $D_0 = B_0\Lambda_{D_0}$, $h = B_0\Lambda_h$.

Для регулирования установившихся колебаний управления предлагается:– исключить (приравнять нулю) в составляющей $(CB_0)^{-1}(K_g g + K_s s)$ управления u диагональную матрицу K_g разрывных параметров $\kappa_{gj}^{\pm}$ и положить в диагональной матрице K_s разрывные параметры $\kappa_{sj}^{\pm}$ непрерывными, то есть равными переменными одного отрицательного знака;– сомножители s_j, функции переключений структур управления в $K_s s$, задавать с нечетными степенями s_j^k, $k = 1,3,5,...$, для управления асимптотическим приведением и.т. на многообразие скольжения;– корни характеристических уравнений систем скользящего режима на гиперплоскостях скольжения $s_j = C_j x = 0$, $j = \overline{1,m}$, задавать вещественными отрицательными во избежание колебаний управления, вызванных колебаниями процессов скользящего режима при задании корней комплексно-сопряженными (хотя и с отрицательной вещественной частью); – в случаях погрешностей $\Delta h(t)$ идентификации $h_0(t)$ приведенного вектора неопределенных возмущений $h(t) = h_0(t) + \Delta h(t)$ и нежелательных колебаний в самих управлениях $u_{F_0} = -(CB_0)^{-1}CD_0F_0(t)$, $u_{0h} = -(CB_0)^{-1}Ch_0(t)$ в результате вхождения в них возмущений $F_0(t)$ и $h_0(t)$ предлагается ограничение амплитуд колебаний управления до приемлемых значений, при которых не будет возможных нерасчетных срабатываний исполнительных механизмов и резонансных колебаний в звеньях системы.

Рассмотрим последний метод регулирования колебаний путем уменьшения их амплитуд несколько подробней [5]. Применяется развитие метода регулирования параметров колебаний не только от неопределенных возмущений $h(t) = h_0(t) + \Delta h(t)$, но и от номинальных возмущений $F_0(t)$. С этой целью с учетом номинальных возмущений $(D_0F_0(t) + h_0(t))$ и неопределенных ограниченных возмущений $\Delta h(t)$ разобьем управление u и производную $\dot{s} = C\dot{x} = (CA_0x + CB_0(t)u) + C(D_0F_0(t) + h_0(t)) + C\Delta h(t)$ на соответствующие слагаемые:

$$u = u_0 + u_{D_0F_0+h_0} + u_{\Delta h}, \qquad \dot{s} = \dot{s}_0 + \dot{s}_{D_0F_0+h_0} + \dot{s}_{\Delta h}, \tag{28}$$

где слагаемые производной $\dot{s}$ согласно приведенным разбиениям примут вид:

$\dot{s}_0 = CA_0x + CB_0(t)u_0, \quad \dot{s}_{D_0F_0+h_0} = C(D_0F_0(t)+h_0(t)) + CB_0(t)u_{D_0F_0+h_0}, \quad \dot{s}_{\Delta h} = C\Delta h(t) + CB_0(t)u_{\Delta h}.$

Управление u_0 согласно заданию производной $\dot{s}_0$ равной $K_s s^k$, $s^k = (s_1^k,...,s_m^k)^T$, находится из равенства $K_s s^k$ производной $\dot{s}_0$ и примет вид

$$u_0 = (CB_0)^{-1}(K_s s^k - CA_0x). \tag{29}$$

С целью упрощения построения управлений $u_{D_0F_0+h_0}$ и $u_{\Delta h}$ полагаем

$$u_{D_0F_0+h_0} = (CB_0)^{-1}u^*_{D_0F_0+h_0}, \quad u_{\Delta h} = (CB_0)^{-1}u^*_{\Delta h}. \tag{30}$$

Тогда $\dot{s}_{D_0F_0+h_0} = C(D_0F_0(t)+h_0(t)) + u^*_{D_0F_0+h_0}$, $\dot{s}_{\Delta h} = C\Delta h(t) + u^*_{\Delta h}$. Задаемся структурой векторных управлений $u^*_{D_0F_0+h_0}$ и $u^*_{\Delta h}$ в виде:

$$\begin{gathered}
u^*_{D_0F_0+h_0} = (u^*_{(D_0F_0+h_0)1},...,u^*_{(D_0F_0+h_0)m})^T = (C_1k^1s_1,...,C_mk^ms_m)^T, C_j = (c_{j1},...,c_{jn}), \quad k^j = (k_1^j,...,k_n^j)^T, \\
\dot{s}_{(D_0F_0+h_0)j} = u^*_{(D_0F_0+h_0)j} + C_j(D_0F_0+h_0) = C_jk^js_j + C_j(D_0F_0+h_0) = \sum_{i=1}^n c_{ji}(k_i^js_j + (D_0F_0+h_0)_i), \\
|\kappa_i^j(t)| = |(D_0F_0+h_0)_i|/\Delta_{*j} + \alpha_i^j, \quad \alpha_i^j \ge 0, \quad (D_0F_0+h_0)_i = D_{0i}(t)F_0(t) + h_{0i}, \\
\Delta_j \ge \Delta_{*j} > 0, \quad \kappa_i^j(t) = -|\kappa_i^j(t)|\, sign\, c_{ji}, \quad i = \overline{1,n}, \quad j = \overline{1,m};
\end{gathered} \tag{31}$$

$$\begin{gathered}
u^*_{\Delta h} = (u^*_{\Delta h1},...,u^*_{\Delta hm})^T = (C_1\bar{k}^1s_1,...,C_m\bar{k}^ms_m)^T, C_j = (c_{j1},...,c_{jn}), \quad \bar{k}^j = (\bar{k}_1^j,...,\bar{k}_n^j)^T, \\
\dot{s}_{\Delta hj} = u^*_{\Delta hj} + C_j\Delta h = C_j\bar{k}^js_j + C_j\Delta h = \sum_{i=1}^n c_{ji}(\bar{k}_i^js_j + \Delta h_i), \\
|\bar{\kappa}_i^j| = \max_t|\Delta h_i(t)|/\Delta_{*j} + \alpha_i^j, \quad \alpha_i^j \ge 0, \quad \Delta_j \ge \Delta_{*j} > 0, \quad \bar{\kappa}_i^j = -|\bar{\kappa}_i^j|\, sign\, c_{ji}, \; i = \overline{1,n}, \quad j = \overline{1,m}.
\end{gathered} \tag{32}$$

Как следует из выражений (31) и (32), достаточные условия $\dot{s}_{(D_0F_0+h_0)j}s_j < 0$ и $\dot{s}_{\Delta hj}s_j < 0$ приведения системы (26)

$$\dot{x} = A_0x + B_0u + D_0F_0(t) + h(t), \quad h(t) = h_0(t) + \Delta h(t), \tag{33}$$

в скользящий режим на многообразии S (27) с устойчивостью и заданным качеством переходных процессов выполняются при условии

$$\Delta_j \ge |s_j| > \Delta_{*j} > 0, \; j = \overline{1,m}. \tag{34}$$

При достаточно малых задаваемых значениях Δ_j и $\Delta_{*j} > 0$ значения по модулю s_j будут также в скольжении малыми, в результате чего с учетом ограниченности по модулю коэффициентов c_{ji} гиперплоскостей $s_j = C_jx = 0$, $j = \overline{1,m}$, и устойчивости системы скользящего режима установившиеся координаты x_i будут стремиться к нулю. Следовательно, установившиеся значения слагаемых номинального управления u_0 (29) и составляющие управлений $u_{D_0F_0+h_0} = (CB_0)^{-1}u^*_{D_0F_0+h_0}$, $u_{\Delta h} = (CB_0)^{-1}u^*_{\Delta h}$, как следует из выражений (31), (32), с уменьшением модулей функций s_j при малых Δ_j и $\Delta_{*j} > 0$ также стремятся к нулю.

Таким образом, установившиеся колебания всех составляющих предельного суммарного управления $u_\infty = u = u_0 + u_{D_0F_0+h_0} + u_{\Delta h}$ системы (33) принимают допустимые малые значения, которые можно уменьшать до значений близких к нулевым. Управления $u_{D_0F_0+h_0} = (CB_0)^{-1}u^*_{D_0F_0+h_0}$, $u_{\Delta h} = (CB_0)^{-1}u^*_{\Delta h}$ (30) в силу постоянства коэффициентов c_{ji} являются непрерывными. Как следует из выражений $|\kappa_i^j(t)| = |(D_0F_0+h_0)_i|/\Delta_{*j} + \alpha_i^j$, $|\bar{\kappa}_i^j| = \max_t|\Delta h_i(t)|/\Delta_{*j} + \alpha_i^j$, в уравнениях (31), (32), значения управлений существенно увеличиваются при повышении точности путем уменьшения значений $\Delta_{*j} > 0$, $j = \overline{1,m}$. При исходных не малых значениях начальных условий $x(t_0)$ системы для ее приведения в скользящий режим с асимптотическим приближением и.т. на многообразие скольжения $S(s = Cx = 0)$, $s = (s_1,...,s_m)^T$, $C - m \times n$, (27) предлагается применить то же самое управление $u_{D_0F_0+h_0} = (CB_0)^{-1}u^*_{D_0F_0+h_0}$, $u_{\Delta h} = (CB_0)^{-1}u^*_{\Delta h}$ (28)-(32), но с заданием

окрестности многообразия S, охватывающей все исходные начальные условия $x(t_0)$ системы (33):

$$x(t_0) \in \{\Delta_j \geq |s_j| > 0\}, \quad j = \overline{1,m}.$$

Выводы

1. Получен первый метод синтеза непрерывного управления в результате задания нулевых значений его разрывным параметрам κ_{g_j} в номинальном управлении u_0 и задания равных отрицательных значений настраиваемым параметрам $\kappa_{s_j}^{+} = \kappa_{s_j}^{-} = \kappa_{s_j} < 0$.

2. Получен второй метод синтеза непрерывного управления, основанный на замене выражения производной $\dot{s} = K_g g + K_s s$ в построении управления заданной векторной производной $\dot{s}_з(t) = (\dot{s}_{1з}, \ldots, \dot{s}_{mз})^T$ функций переключений s_j многообразия скольжении $s(x,t) = (s_1, \ldots, s_m)^T = 0$, определяющей качество приведения в скольжение.

3. Получен третий метод синтеза непрерывного управления с методом регулирования установившихся колебаний самого управления с уменьшением его амплитуды и частоты до нулевых значений.

Публикация осуществлена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-48-160042.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Drazenovic B.* The invariance condition in variable structure systems// Automatica. 1969. Vol. 5, № 3. P. 287–295.

2. *Мещанов А.С.* Синтез скользящих режимов при невыполнении условий инвариантности к возмущениям в системах с линейными стационарными объектами с размерностью отличной от удвоенной размерности управления. // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. 2014, №4, С.154-163.

3. *Мещанов А.С.* О приведении в скользящий режим многомерных разрывных систем с нелинейным нестационарным объектом управления. В кн.: “Устойчивость движения”, Новосибирск: Наука, 1985, с. 230 – 234.

4. *Мещанов А.С.* Идентификация и компенсация возмущений в управлении нелинейными объектами. Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2010, №,3, С. 164-173.

5. *А.С. Мещанов.* Регулирование колебаний на скользящих режимах для нелинейных объектов. XII ВСЕРОССИЙСКОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ ВСПУ-2014. МОСКВА, 16-19 ИЮНЯ 2014 Г. ТРУДЫ. [Электронный ресурс] М.: Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН. 2014. С. 564-577.

CONTINUOUS CONTROL WITH ASYMPTOTIC REDUCTION SYSTEMS IN SLIDING MODES IN THE PERTURBATION

Karataeva Marina

marina_karataeva@mail.ru

Supervisor: Arsen Meshchanov, Ph.D., Senior researcher

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

Three methods for the synthesis of vector controls of continuous asymptotic reduction of systems on a variety of sliding modes with a decrease in the steady-state amplitude and frequency of oscillations of the control, as well as with the regulation of these parameters are developed. The methods are based on the task in the controls: in the first control, zero values of its discontinuous parameters in the nominal component of the control; in the second control, the vector derivative of the switching functions of the slip variety; in the third control, the regulation of the steady-state oscillations of the control itself with a decrease in its amplitude and frequency to zero values in order to avoid their possible negative impact on the Executive and other elements of the system.

УДК 519.711.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛЕГКОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ МАЛОИНВАЗИВНОГО ХИРУРГИЧЕСКОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА

Курмашев А.Р.
kur.ars-95@mail.ru
Научный руководитель: Р.Н. Файзутдинов, к.т.н.
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань*)

Работа посвящена разработке математической модели робота манипулятора для моделирования движения захвата робота по заданной траектории. С использованием разработанной кинематической модели решены прямая и обратная задачи кинематики. На основе анализа экспериментальных данных составлена динамическая модель манипулятора. Исследование ориентировано на применение роботов манипуляторов в качестве ассистентов во время проведения различного рода хирургических операций.

В последние десятилетия все большее распространение приобретает малоинвазивная, лапароскопическая хирургия. Снижение послеоперационных рецидивов, снижение объёма хирургического вмешательства, меньший срок послеоперационного восстановления – всего лишь несколько причин, по которым малоинвазивная хирургия является более предпочтительной как для пациентов, так и для врачей [1]. Применение роботов во время хирургических операций имеет ряд преимуществ, поскольку такие особенности роботов как: малые по амплитуде движения, отсутствие усталости и дрожания, меньшие размеры играют существенную роль в хирургии [1]. Хирурги предпочитают роботизированную помощь в силу того, что роботизированная система имеет возможность более точно размещать хирургический инструмент, у доктора есть возможность сидеть во время своей работы, используя консоль, отражающую трехмерное изображение хирургического поля, и дистанционно обращаться с хирургическими инструментами с помощью тактильного интерфейса. Самым известным примером успешно внедренной роботизированной системы в хирургии является Da Vinci с четырьмя руками-манипуляторами.

Рассмотрим задачу моделирования легкого робота KUKA-IIVA [2]. Робот KUKA-IIVA является универсальным промышленным роботом-манипулятором и характеризуется высокой чувствительностью и быстротой реакции. Внешний вид легкого робота-манипулятора KUKA-IIVA показан на рис.1.

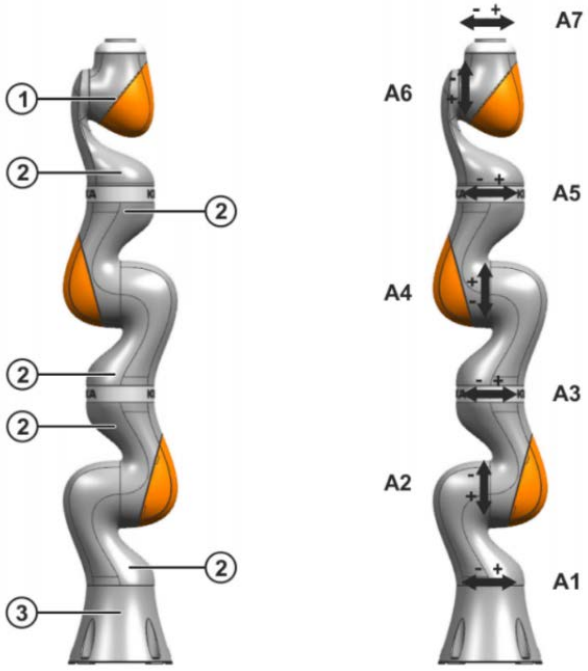


Рисунок 1 – робот KUKA-IIVA [2]

Для математического моделирования исследуемого робота используем модель в форме пространства состояния:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \tag{1}$$

где x – вектор состояния системы, состоящий из углов поворота в сочленениях робота; u – вектор управляющих воздействий; y – вектор выходных координат; A, B, C, D – постоянные матрицы. В качестве измеряемых выходов системы y используются декартовы координаты положения захвата робота в пространстве.

Для нахождения координат рабочего органа робота по заданным углам поворота в сочленениях робота используется кинематическая модель. Соответствующая кинематическая модель с изображенными параметрами Денавита – Хартенберга (ДХ) представлена на рис.2. ДХ-параметры играют очень важную роль в робототехнике, поскольку они позволяют описать взаимосвязь между координатами различных звеньев робота с помощью матриц однородных преобразований [3].

С каждым звеном робота связан своя локальная система координат, что показано на рис.2. Взаимное расположение одних и тех же координат в различных базисах выражается через матрицы однородного преобразования [4]. Для получения взаимосвязи между декартовыми координатами схвата и углами поворота в сочленениях робота были решены прямая и обратная задачи кинематики. Прямая задача, заключается в том, чтобы при известных углах поворота звеньев найти положение захвата робота. Решение данной задачи не представляет трудности, так как положение захвата однозначно определяется углами поворота. Обратная задача заключается в том, чтобы при известном положении захвата робота найти углы поворота в сочленениях звеньев, обеспечивающие данное положение. Одно конкретное положение захвата робота может быть достигнуто различными конфигурациями взаимного расположения звеньев относительно друг друга. Поскольку решение данной задачи не является тривиальным, необходимым является применение оптимизационных методов, по нахождению вектора углов поворота, соответствующих наиболее эффективному в заданном смысле расположению в пространстве. После решения задачи минимизации получаем вектор оптимальных углов для данного положения захвата робота

Для получения динамической модели системы был проведен анализ экспериментальных данных. В результате экспериментов были измерены отклики системы в сочленениях робота на ступенчатые командные сигналы. Для описания динамики робота в сочленениях было использовано апериодическое звено 2-го порядка, описываемое дифференциальным уравнением.

$$T_2^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t) \tag{4}$$

с общим решением, вида

$$s = \frac{5(T_1 + \sqrt{-4T_2 + T_1^2}) - 10\sqrt{-4T_2 + T_1^2}}{2\sqrt{-4T_2 + B^2}} e^{\frac{t}{2}(-T_1 - \sqrt{-4T_2 + T_1^2})} + \frac{-5(T_1 + \sqrt{-4T_2 + T_1^2})}{2\sqrt{-4T_2 + T_1^2}} e^{\frac{t}{2}(-T_1 + \sqrt{-4T_2 + T_1^2})}. \tag{5}$$

Здесь T_1, T_2 – это коэффициенты, имеющие размерность времени. Для нахождения кривой, наиболее близко располагающейся к экспериментальным значениям, была вновь решена задача минимизации:

$$T_1, T_2 = \arg(\min_{T_1, T_2} \sum_{j=1}^{6} (m_d - s)^2) \tag{6}$$

где m_d и s – это экспериментальные данные и идентифицируемая модель, соответственно.

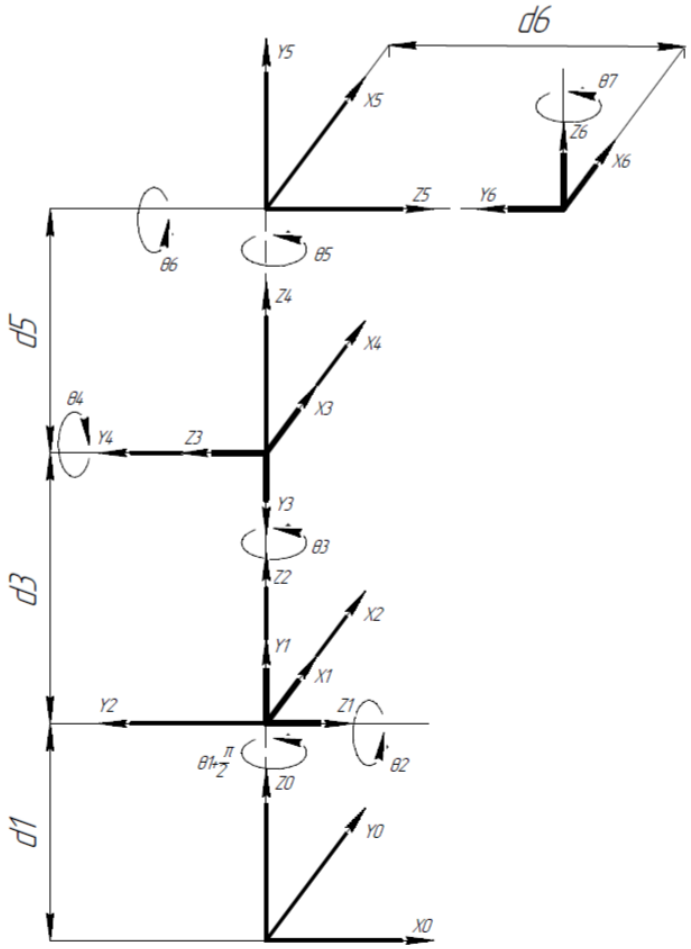


Рисунок 2 – кинематическая модель робота

Как видно из рис.3 при варьировании коэффициентов T_1, T_2 кривая решения дифференциального уравнения меняет свой вид. Это происходит вследствие изменения коэффициента демпфирования ς:

$$\varsigma = \frac{T_1}{2}\sqrt{\frac{1}{T_2}} \tag{7}$$

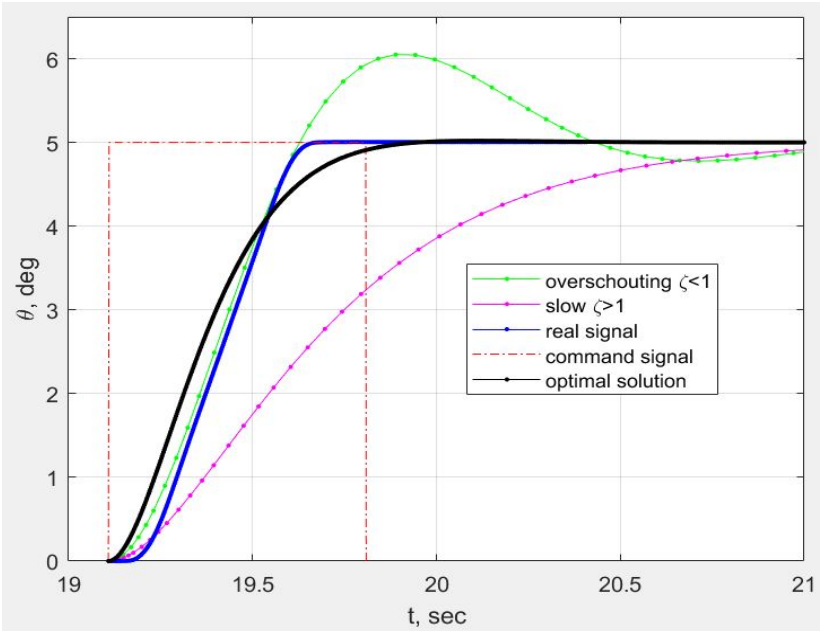


Рисунок 3 – оптимальное решение с параметрами T_1=0.275 and T_2=0.025

После нахождения данных коэффициентов все матрицы необходимые для применения метода пространства состояний известны:

$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{-1}{T_2} & \frac{-T_1}{T_2} \end{bmatrix}$ – матрица системы,

$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ – матрица управления,

$C = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ – матрица наблюдения,

$D = 0$ – матрица прямой связи.

После того как по описанному выше алгоритму были составлены матрицы для всех звеньев робота, была составлена модель всей системы в целом. Составленная модель была использована при синтезе регулятора методом прогнозирующих моделей [5]. Синтезированный регулятор был использован для моделирования стабилизации захвата робота в заданном положении и моделирования движения захвата по заданной траектории.

В ходе данного исследования была рассмотрена актуальность применения роботов манипуляторов в современной хирургической практике, приведены сведения о преимуществах такого рода подходов. Были изучены технические характеристик легкого робота манипулятора KUKA IIVA, на основе чего составлена кинематическая модель, пользуясь которой решены прямая и обратная задача кинематики. Исследованы экспериментальные данные и составлена соответствующая динамическая модель. В дальнейшем результаты данного исследования можно применить для синтеза регуляторов и моделирования движений робота манипулятора KUKA IIVA.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bravo R., Lacy A.M.*: Medicine and robotics // Medicina Clinica. 2015. Vol. 145. Iss, 11. P. 493-495.

2. www.kuka.com

3. *Hartenberg R.S., Denavit J*. A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices// ASME Journal of Applied Mechanics, 1955. Vol. 22, P. 215–221.

4. *Siciliano B, Sciavicco L., Villani L., Oriolo G*. Robotics. Modelling, planning and control: London: Springer Verlag, 2009.

5. *Matschek J., Bathge T., Faulwasser, T., Findeisen R.*: Nonlinear Predictive Control for Trajectory Tracking and Path Following: An Introduction and Perspective / Rakovic S.V., Levine W.S. (eds.) Handbook of Model Predictive Control. Berlin: Springer International Publishing, 2019. P.169-198.

LIGHTWEIGHT ROBOT MANIPULATOR MODEL DEVELOPMENT FOR THE PURPOSE OF SIMULATING A MINIMALLY INVASIVE SURGICAL INTERVENTION

A.R. Kurmashev

kur.ars-95@mail.ru

Supervisor: R.N. Faizutdinov, PhD

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

The article is devoted to the development of a lightweight robot manipulator mathematical model in order to simulate robot capture motion along a predetermined trajectory. The study is divided into parts according to the solution of the direct and inverse problems of kinematics, the creation of the kinematic and dynamic models of all links of the manipulator. This study is focused on the use of robotic manipulators as assistants during various types of surgical operations

УДК 531.36

К ВОПРОСУ О РАВНОВЕСНОМ ПОЛОЖЕНИИ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ГИРОМАЯТНИКА

Лукин К.О.
Kirill.O.Lukin@yandex.ru
Научный руководитель: С.В. Кривошеев, к.т.н., доцент.
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань

В рамках данного доклада был рассмотрен эксперимент Эрика Лайтвейта (Eric Laithwaite), в котором якобы демонстрировалось уменьшение веса вращающегося гироскопа. Предложено объяснение с точки зрения физики для данного научного фокуса, а так же проведены численные расчёты для подтверждения предложенного решения.

Динамика вращающегося тела кажется противоестественной, поэтому ещё с древних времён люди делали игрушки в виде простейших волчков. Первое же строгое описание динамики вращающихся тел возникает в XVII веке во время становления современной механики. В XX веке профессор Эрик Лайтвейт (Eric Laithwaite) провёл серию демонстраций с гироскопами, в которых было показано кажущееся уменьшение веса гироскопа. В данном докладе рассмотрен один из них, суть которого заключалась в том, что после раскручивания гироскопа платформу, на которой он установлен, можно было выдвинуть дальше положения равновесия (при невращающемся гироскопе). За основу взято видео Игоря Белецкого [1].

Постановка задачи:

1. Определить из первой части эксперимента массу платформы, основываясь на приблизительных размерах установки, полученных из видео.
2. Определить расстояние Δ, на которое можно сдвинуть платформу с раскрученным гироскопом относительно равновесного положения с остановленным гироскопом.
3. Определить модуль силы реакции $\vec{R}$ со стороны нижнего блока (опоры) на платформу.

Установка, представленная на рисунке 1, где 1 – опора, 2 – платформа, 3 – стойка, 4 – ротор гироскопа, 5 – подшипник, 6 – цилиндрический шарнир, представляет собой тяжёлый гироскоп в виде гиромаятника.

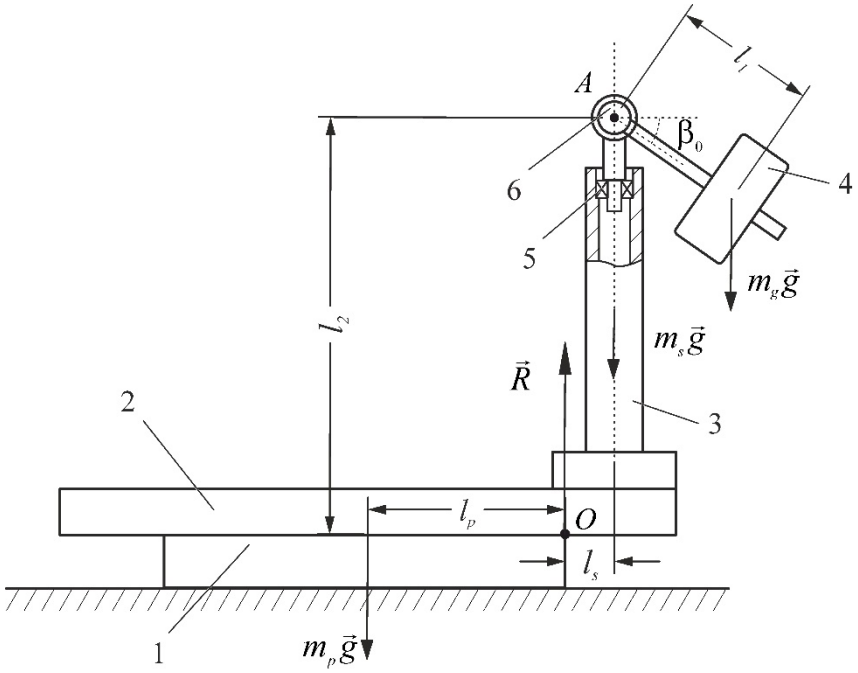


Рисунок 1

Так же в докладе приняты следующие обозначения: l_1 – расстояние от шарнира до центра масс ротора гироскопа, l_2 – расстояние по вертикали от оси цилиндрического шарнира 6 до опоры, l_p и l_s – расстояния по горизонтали от грани опоры до центра масс платформы и стойки в первой части эксперимента соответственно, m_p, m_s, m_g – массы платформы, стойки и гироскопа соответственно, $\vec{N}_x$, $\vec{N}_y$ – горизонтальная и вертикальная силы шарнире, $\vec{R}$ – сила реакции со стороны опоры, F_{in} – сила инерции, H – кинетический момент ротора гироскопа, J, ω – момент инерции и угловая скорость вращения ротора гироскопа соответственно. Из видеоролика можно приблизительно задаться размерами установки.

$$l_1 = 0,08\,\text{м} \qquad \beta_0 = 20° \qquad l_2 = 0,2\,\text{м} \qquad l_p = 0,08\,\text{м} \qquad l_s = 0,04\,\text{м}$$

Масса гироскопа измерена ($m_g = 0,7\,\text{кг}$), а масса лёгкой стойки предположим $m_s = 0,05$ кг. Запишем уравнения статики для момента, когда гироскоп не вращается, а платформа находится на грани опрокидывания [2] (см. рис. 1). Трением пренебрегаем. В этом случае точка приложения силы реакции опоры $\vec{R}$ совпадает с точкой *O*.

$$m_p g l_p - m_s g l_s - m_g g\left(l_s + l_1 \cos\beta_0\right) = 0 \tag{1}$$

Из этого уравнения найдём массу платформы.

$$m_p = \left(m_g\left(l_s + l_1\cos\beta_0\right) - m_s l_s\right)\Big/ l_p = 0,983\,\text{кг} \tag{2}$$

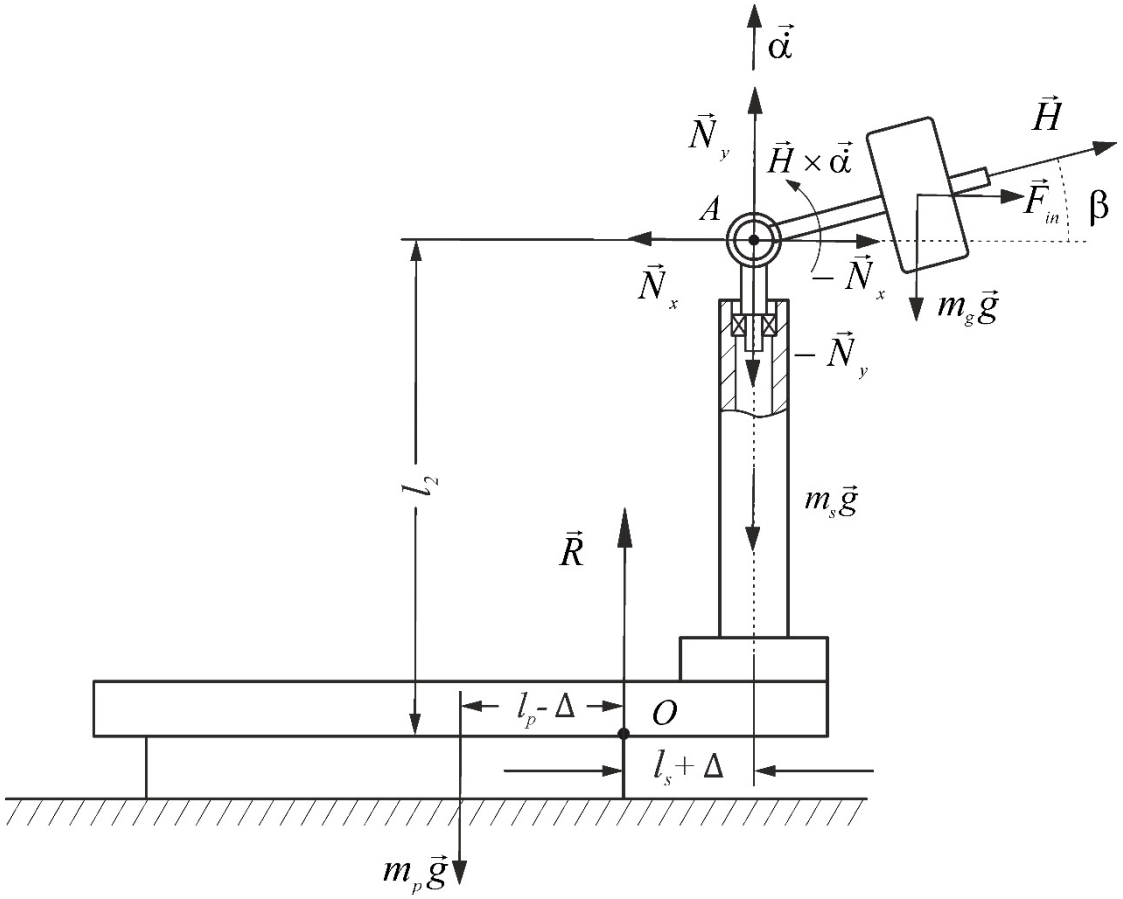


Рисунок 2

Рассмотрим вторую часть эксперимента (см. рис. 2 и 3). Здесь гироскоп раскручен и имеет кинетический момент $H = 0,183\,\text{Нм}$ ($J = 3,6\cdot10^{-3}\,\text{кг}\cdot\text{м}^2; \omega = 500\,\text{об/мин}$), а платформа выдвинута на расстояние Δ вправо.

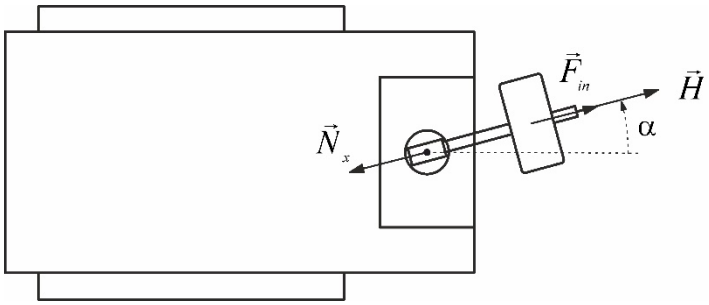


Рисунок 3

Для описания движения гиромаятника введём следующие допущения:

1. Угловая скорость вращения гироскопа много больше угловой скорости прецессии и не меняется за время эксперимента: ω $\dot{\alpha}$.
2. Рассматривается стационарное движение с постоянной угловой скоростью прецессии, а угол нутации остаётся постоянным и равным $\beta = 5°$.
3. Для описания силы инерции от прецессионного вращения ротор гироскопа считать точечной массой.
4. Трением пренебречь.

С учётом допущений для положения равновесия можно записать уравнения аналогичные статике, добавив гироскопический момент и силы инерции [2]. Рассмотрим отдельно равновесие гироскопа (уравнение моментов относительно точки A (3) и первый закон Ньютона в проекции на вертикальную (4) и горизонтальную (5) оси) и платформы (уравнение моментов (6) относительно точки O).

$$\sum M(A) = H\dot{\alpha}\cos\beta - m_g g l_1 \cos\beta - \dot{\alpha}^2 m_g l_1 \cos\beta l_1 \sin\beta = 0 \quad (3)$$

$$N_y = m_g g \quad (4)$$

$$N_x = \dot{\alpha}^2 m_g l_1 \cos\beta \quad (5)$$

$$\sum M(O) = m_p g(l_p - \Delta) - m_s g(l_s + \Delta) - N_y(l_s + \Delta) - N_x l_2 \cos\alpha = 0 \quad (6)$$

Выражение (3) является квадратным уравнением относительно угловой скорости прецессии $\dot{\alpha}$, которое имеет пару корней:

$$x_{1,2} = \frac{H \mp \sqrt{H^2 - 4m_g^2 l_1^3 g \sin\beta}}{2m_g l_1^2 \sin\beta}. \quad (7)$$

Дискриминант в (7) накладывает ограничение на величину кинетического момента гироскопа H из-за того, что подкоренное выражение должно быть неотрицательным:

$$H^2 \geq 4m_g^2 l_1^3 g \sin\beta. \quad (8)$$

Оценим влияние слагаемого силы инерции в выражении (3). Видно, что максимальное значение этого слагаемого будет при угле $\beta = 45°$. Решения уравнения (3) при $\beta = 45°$: $\dot{\alpha}_1 = 3{,}18\,\text{с}^{-1}$; $\dot{\alpha}_2 = 55{,}5\,\text{с}^{-1}$. Во-первых, отметим, что второе решение является невозможным. Так как по условиям эксперимента гироскоп дополнительно не раскручивают относительно оси стойки, то скорость прецессии при величине H, близкой к начальной, не возможна. Это следует из закона сохранения энергии. Во-вторых, момент силы инерции при данном решении равен $M_{\text{ин}} = 0{,}023\,\text{Нм}$, что на порядок меньше момента силы тяжести ($M_{\text{т}} = 0{,}396\,\text{Нм}$). Исходя из этого, в уравнении (3) можно пренебречь влиянием силы инерции. Тогда угловая скорость прецессии однозначно определяется:

$$\dot{\alpha} = m_g g l_1 / H. \quad (9)$$

С учётом первого допущения появляется ещё одно ограничение на кинетический момент:

$$\omega = \frac{H}{J} \square \frac{m_g g l_1}{H} \text{ или } H \square \sqrt{J m_g g l_1}\,. \tag{10}$$

Подставив (9) в (5), получим выражение силы реакции N_x со стороны стойки:

$$N_x = \frac{m_g^2 g^2 l_1^3}{H^2}\cos\beta\,. \tag{11}$$

Решая уравнение (5), находим:

$$\Delta = \frac{m_p l_p - \left(m_s + m_g\right) l_s}{m_p + m_s + m_g} - \frac{m_g^2 g l_1^2 \cos\beta l_2}{H^2\left(m_p + m_s + m_g\right)}\cos\left(\frac{m_g g l_1}{H} t\right). \tag{12}$$

Действительно, видим из ролика, что вероятнее всего платформа перевернётся при прохождении гироскопом положения $\alpha = 0$. Определим численное значение максимального расстояния Δ, при котором платформа устойчива при всём движении гироскопа (из видео примем $\beta = 5°$):

$$\Delta = \frac{0{,}983\,\text{кг}\cdot 0{,}08\,\text{м} - \left(0{,}05 + 0{,}7\right)\text{кг}\cdot 0{,}04\,\text{м}}{0{,}983\,\text{кг} + 0{,}05\,\text{кг} + 0{,}7\,\text{кг}} - \frac{\left(0{,}7\,\text{кг}\right)^2\cdot 10\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\cdot\left(0{,}08\,\text{м}\right)^3\cdot 0{,}2\,\text{м}\cdot 0{,}996}{\left(0{,}186\,\text{Нмс}\right)^2\left(0{,}983\,\text{кг} + 0{,}05\,\text{кг} + 0{,}7\,\text{кг}\right)} = 1{,}97\ \text{см}$$

Полученный численный результат согласуется с экспериментом.

Построим зависимость расстояния Δ, при котором платформа будет устойчивой, как функцию от угла β при $H = 0{,}183\,\text{Нм}$ (см. рис. 4) и как функцию от кинетического момента H при $\beta = 0°$ (см. рис. 5).

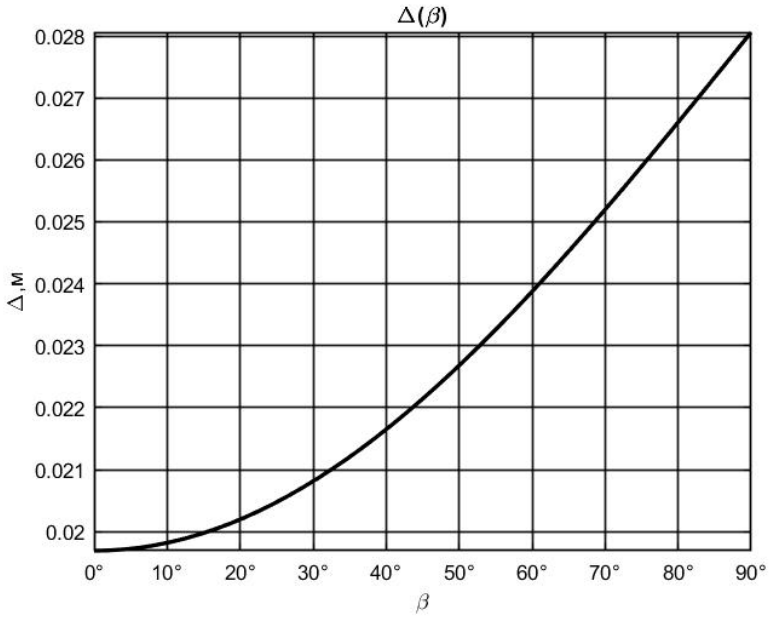


Рисунок 4

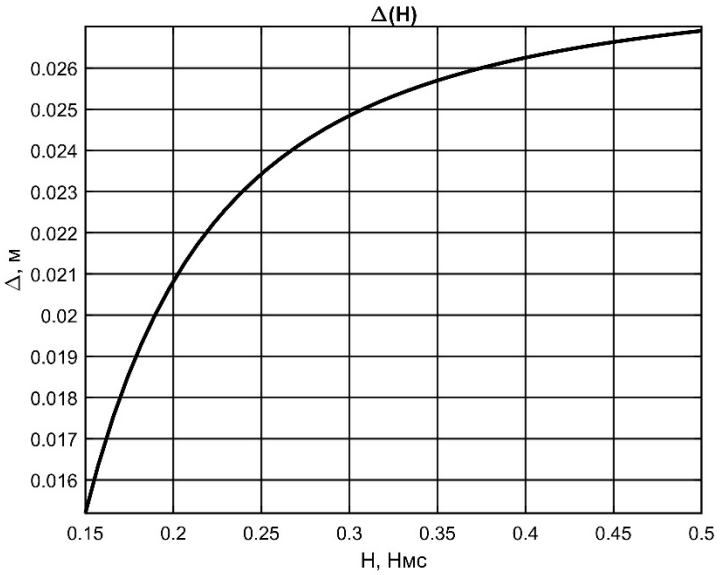


Рисунок 5

Платформа в целом покоится, тогда по первому закону Ньютона $\sum \vec{F} = 0$. В проекции на вертикальную ось запишется в виде:

$$m_p g + m_s g + m_g g = R\,. \tag{13}$$

Выражение (13) показывает, что сила реакции опоры на платформу не зависит от вращения гироскопа.

Выводы. Дано объяснение и предложены формулы для определения параметров, соответствующих эксперименту на видео. Показано, что вес всей установки не меняется, более того, гироскоп оказывает воздействие на стойку равное своему весу. Важно отметить, что расчёт сил в динамике существенно отличается от статики и интуитивное желание провести аналогии может привести к заблуждениям. В данной задаче только благодаря перераспределению моментов в установке, вызванному возникновением инерционного гироскопического момента, платформа становится устойчивой в таком положении, при котором в статике она бы перевернулась. Конечно, точное исследование требует иного, более строгого, подхода с исключением всех сделанных допущений. Однако в докладе был выбран именно этот вариант расчёта с той целью, чтобы максимально наглядно показать физические явления, стоящие за таким поведением гиромаятника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГИРОСКОП ТЕРЯЕТ ВЕС? Три спорных эксперимента Как такое возможно? Антигравитация? Игорь Белецкий // Youtube URL: https://youtu.be/FwrlRpC8BDA (дата обращения: 11.07.2019).

2. *Тарг С.М.* Краткий курс теоретической механики: Учеб. для втузов / С.М. Тарг. – М.: Высш. шк., 1986.– 416 с.: ил.

ON THE QUESTION OF THE EQUILIBRIUM POSITION OF A DEMONSTRATIONAL GYROPENDULUM

K. Lukin

Kirill.O.Lukin@yandex.ru

Supervisor: S. Krivosheev, Candidate of Technical Sciences, assistant professor.

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

In the present report experiment of prof. Eric Laithwaite was considered, in which weight decrease of spinning gyroscope was allegedly demonstrated. An explanation from the scientific point of view was suggested and also numerical calculation was performed to check the validity of the solution.

УДК 62-752.4

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ТРАДИЦИОННОГО И LQI РЕГУЛЯТОРОВ В КОНТУРЕ МЕЖРАМОЧНОЙ КОРРЕКЦИИ ОСГС

Лукин К.О.
Kirill.O.Lukin@yandex.ru
Научный руководитель: В.И. Гаркушенко, к.т.н., доцент.
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань

Проведён сравнительный анализ динамики одноосного силового гиростабилизатора (ОСГС) с различными корректирующими устройствами. Для ОСГС повышенной точности по возмущающему моменту проведён синтез корректирующего устройства частотным методом, а также линейно-квадратичного регулятора. Показаны преимущества и недостатки полученных регуляторов.

В работе рассматривается ОСГС, который может применяться в железнодорожных путеизмерителях, как, например, предложено в [1]. Параметры качки на железной дороге имеют следующие значения: угловая частота колебаний – 4 рад/с, амплитуда – 0,02 рад. Возмущающим моментом является момент силы трения в оси стабилизации, который в рамках данной работы аппроксимируется до прямоугольных импульсов переменного знака с амплитудой 0,02 Нм (максимальный момент трения по наихудшему сценарию работы) и частотой равной частоте колебаний при качке [2].

Цель синтеза регулятора контура межрамочной коррекции ОСГС [2] заключается в обеспечении необходимой точности и скорости работы: время переходного процесса на единичный скачок должно составлять не более 1 с, перерегулирование – не более 30%, установившееся рассогласование по углу прецессии при действии постоянного момента – не более 2 угловых минут. Для сравнения методов синтеза выбран гиростабилизатор без редуктора и поставлены высокие требования точности работы. По конструктивным ограничениям требуется, чтобы ток в цепи мотора стабилизации не превышал 1 А, а максимальный рабочий угол прецессии не превышал 10 угловых минут.

Уравнения динамики ОСГС можно выразить, согласно [2], системой уравнений в линеаризованном виде:

$$-J_x\ddot{\alpha}+H\dot{\beta}+M_{CM}-M_{\text{в}}=0, \quad (1)$$

$$-J_z\ddot{\beta}-H\dot{\alpha}=0, \quad (2)$$

$$\frac{C_e q}{R}\dot{\alpha}+T\frac{di}{dt}+i=\frac{U_{CM}}{R}, \quad (3)$$

$$M_{CM}=C_m i, \quad (4)$$

где уравнение (1) описывает динамику в проекции на внутреннюю ось ОСГС (*OX*), уравнение (2) – уравнение динамики в проекции на внешнюю ось ОСГС (*OZ*), уравнения (3) и (4) – уравнения двигателя постоянного тока, установленного на внутренней оси. Здесь приняты следующие значения: $J_x=15\cdot10^{-4}\,\text{кг}\cdot\text{м}^2$ – момент инерции платформы относительно оси прецессии; α – угол поворота платформы вокруг оси прецессии; H=0,6 Нмс – кинетический момент гироскопа; M_{CM} – момент, создаваемый мотором стабилизации; $M_{\text{в}}$ – возмущающий момент; $J_z=8\cdot10^{-4}\,\text{кг}\cdot\text{м}^2$ – момент инерции гироблока относительно оси стабилизации; β – угол прецессии; $L=9{,}5\cdot10^{-3}\,\text{Гн}$, $R=19\,\text{Ом}$ – индуктивность и сопротивление обмотки якоря соответственно, $C_e=0{,}1\,\text{В/с}$ – коэффициент

противо-э.д.с, $C_m = 0{,}1$ Нм/А – коэффициент пропорциональности вращающего момента мотора от силы тока; $T = L/R = 0{,}0005\,\text{с}$ – электрическая постоянная времени мотора стабилизации; U_{CM} – напряжение на обмотке возбуждения мотора стабилизации. Моменты инерции, возникающие от движения прибора относительно инерциального пространства, были учтены как составляющие момента дрейфа и момента возмущения. В данном случае рассматривается только работа системы межрамочной коррекции, поэтому считается, что момент двигателя по оси прецессии полностью компенсирует момент дрейфа. Напряжение на моторе стабилизации формируется регулятором на базе сигнала с датчика угла β и командного сигнала g по формуле:

$$U_{CM} = k_{\text{у}} k_{\text{ду}} (\beta - g), \tag{5}$$

где $k_{\text{у}}, k_{\text{ду}}$ – коэффициенты передачи усилителя и датчика углов соответственно, g – командный сигнал, (β-g) – рассогласование.

Исходные уравнения содержат только производную от угла α, а не сам угол. Ввиду этого можно понизить порядок передаточных функций и пространства состояния до четвёртого без изменения физической сути, так как в данной статье рассматривается работа только контура межрамочной коррекции и система безразлично устойчива по углу α в пределах значений, удовлетворяющих условию линеаризации. На рисунке 1 представлена структурная схема ОСГС.

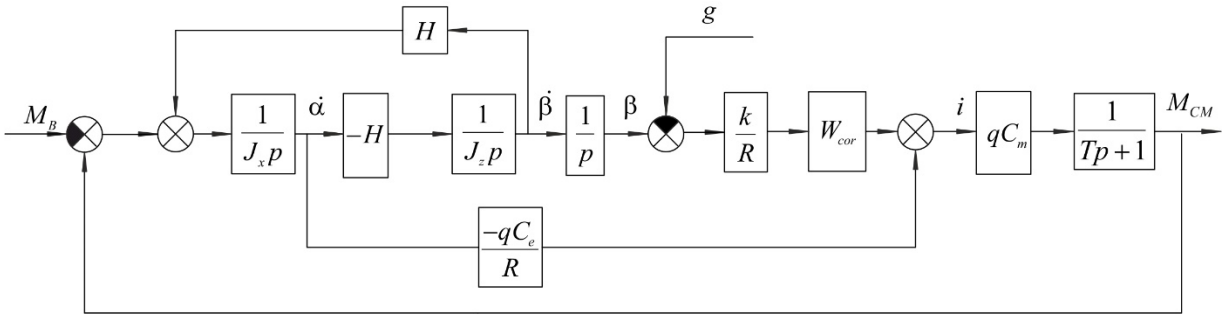


Рисунок 1

Отсюда составляются передаточные функции разомкнутой системы по углу прецессии β от напряжения на двигателе и возмущающего момента $M_{\text{в}}$.

$$W_{\text{раз}} = W_{\beta, U_{\text{мс}}} = \frac{-C_m H^{-1} R^{-1} p}{\left(\frac{J_x J_z L}{H^2 R} p^3 + \frac{J_x J_z}{H^2} p^2 + \frac{LH^2 + C_e C_m J_z}{H^2 R} p + 1 \right) p^2} \tag{6}$$

$$W_{\beta, M_{\text{мс}}} = \frac{Hp(R + Lp)}{J_z J_x L \left(p^5 + \frac{R}{L} p^4 + \frac{LH^2 + C_e C_m J_z q^2}{J_x J_z L} p^3 + \frac{H^2 R}{J_x J_z L} p^2 \right)} \tag{7}$$

Для удовлетворения условия точности найдём необходимый коэффициент усиления по теореме о конечном значении оригинала:

$$\delta(\infty) = \lim_{p \to 0} p \left(\frac{W_{\beta, M_{\text{мс}}}}{1 + K W_{раз}} \right) \frac{M_{\text{в}}}{p}. \tag{8}$$

Отсюда получаем коэффициент K = -6532, который будет отрицательным, т.к. для сумматора β и g получается, в сущности, положительная обратная связь по β (см. рис. 1). Видим, что с выбранным коэффициентом усиления система неустойчива (см. ЛАХ и ЛФХ рис. 2). При этом основной сложностью синтеза регулятора является высокий колебательный пик, обусловленный нутационным движением гироскопа.

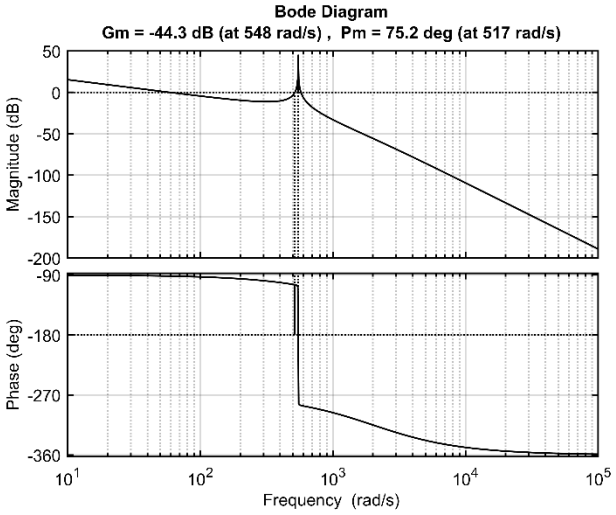


Рисунок 2

По методике, основанной на коэффициенте колебательности, предложенной в [2], строится ЛАХ желаемая (см. рис. 3). Для желаемого коэффициента колебательности равного 1,3, времени переходного процесса равного 0,325 с и с учётом параметров качки строятся запретные зоны и желаемая ЛАХ системы, по которой находится желаемая передаточная функция системы и регулятора.

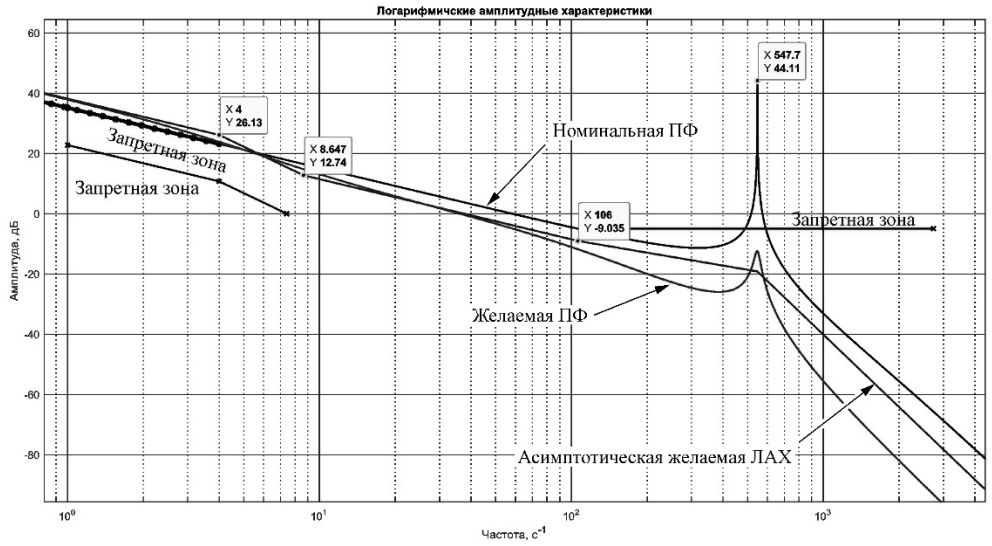


Рисунок 3

Особенность заключается в том, что необходимо подавить колебательный пик. В [2] как метод уменьшения нутационных колебаний было предложено использование скоростной обратной связи (включение с систему тахогенератора), которой бы охватывался гироблок. Но данный метод имеет существенный недостаток – увеличение возмущающих моментов при угловых колебаниях объекта, как указано в [3]. Поэтому в данном расчёте применим полосно-заграждающий фильтр для подавления сигнала нутационных колебаний. Результаты моделирования показаны на рисунке 3.

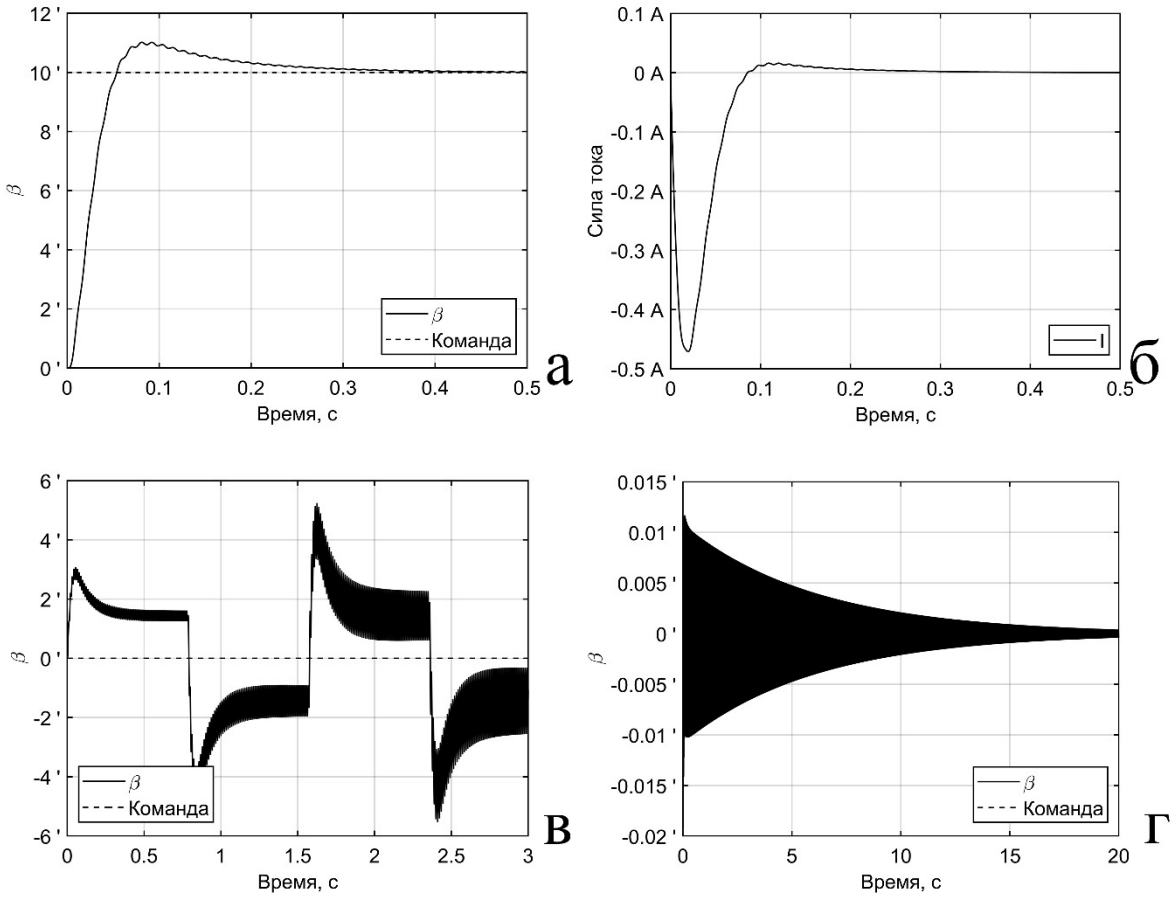


Рисунок 4

Видно из рис. 3а, что переходный процесс системы при единичном скачке командного сигнала $g = 10' \cdot 1(t)$ удовлетворяет требованиям ($t_р$=0,16 с, σ=10%). Такой единичный скачок на наибольший рабочий угол выбран для проверки максимального тока в обмотке возбуждения мотора стабилизации. Убеждаемся в том, что ток не превышает 0,5 А (рис. 3б). Тем не менее, рисунок 3г показывает возникновение и длительное (около 15 с) затухание нутационных колебаний при начальных условиях $\left(\dot{\alpha} \quad \dot{\beta}\right)^T = \left(0,001 \quad 0,001\right)^T$ с$^{-1}$. Это происходит из-за того, что, убрав с помощью режекторного фильтра нутационные колебания из сигнала обратной связи, поступающего в регулятор, мы не изменили динамику самого гироскопа. Из-за этого факта данный регулятор не может подавлять нутационные колебания. При моделировании момента трения по оси стабилизации, возникающего при качке, нутационные колебания наносят ощутимый вред качеству работы системы (см. рис. 3 в). Не смотря на то, что среднее значение угла β за время между импульсами успевает установиться меньше 2 угловых минут, нутационные колебания накладываются на желаемую динамику системы.

В качестве альтернативного способа управления контуром межрамочной коррекции рассмотрим линейно-квадратичный регулятор (LQR). Принцип данного метода заключается в том, чтобы найти такое линейное управление $u = -Kx$, которое бы сводило к минимуму квадратичный функционал качества:

$$J = \int_0^\infty \left(x^T \mathbf{Q} x + u^T \mathbf{R} u \right) dt, \tag{9}$$

где матрицы **Q** и **R**– симметричные, положительно определённые весовые матрицы. Нахождение оптимального линейного управления $u = -Kx = -\mathbf{R}^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{P}x$ сводится к решению уравнения Риккати:

$$\mathbf{A}^{\mathbf{T}}\mathbf{P} + \mathbf{PA} - \mathbf{PBR}^{-1}\mathbf{B}^{\mathbf{T}}\mathbf{P} + \mathbf{Q} = 0, \quad (10)$$

где **A** и **B –** матрицы системы и управления пространства состояния соответственно. Для реализации LQR необходимо измерение полного вектора состояния, который состоит из переменных $\beta, \dot{\beta}, \alpha, i$ или их линейных комбинаций в зависимости от выбранного пространства состояний. Это требование выполнимо технически в конструкции ОСГС. В данном случае используется пространство состояний, полученное из уравнений (1)-(4) таким образом, что $x^T = \begin{pmatrix} \beta & \dot{\beta} & \alpha & i \end{pmatrix}^T$. Основой трудностью данного метода является невозможность учесть в расчёте установившееся рассогласование *β-g*, вызванное постоянным моментом возмущения. Одним из возможных решений может быть использование Linear-Quadratic-Integral control (LQI), то есть добавление интегратора в линейно-квадратичный регулятор. Для этого расширим пространство состояний введением переменной состояния интегратора *z*:

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & 0 \\ -\tilde{\mathbf{C}} & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{B} \\ 0 \end{bmatrix} u, \quad (11)$$

где $\tilde{\mathbf{C}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$. Тогда квадратичный функционал будет иметь вид:

$$J = \int_0^\infty \left(\begin{bmatrix} x^T & z \end{bmatrix} \mathbf{Q} \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} + u^T \mathbf{R} u \right) dt. \quad (11)$$

Путём итерационного подбора матриц и моделирования в качестве возможного решения были выбраны матрицы $\mathbf{Q} = \mathrm{diag}\begin{bmatrix} 3000 & 0,01 & 0,01 & 0,001 & 10^5 \end{bmatrix}$ и $\mathbf{R} = 0,0001$. Тогда решением уравнения Риккати определится вектор коэффициентов $K = \begin{pmatrix} -6138,2 & 1,2494 & 36,962 & 1,4406 & 31623 \end{pmatrix}$. Преимущество LQI перед традиционным LQR заключается в том, что для уменьшения установившегося рассогласования не нужно слишком сильно увеличивать коэффициенты усиления, что позволяет избежать излишнего увеличения силы тока в цепи. Для моделирования работы системы была создана схема в ПО «Simulink» на рисунке 5.

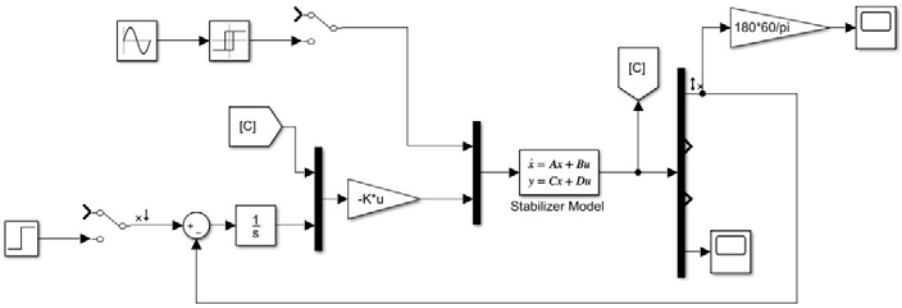


Рисунок 5

ЛАХ и ЛФХ системы с LQI регулятором показана на рисунке 6.

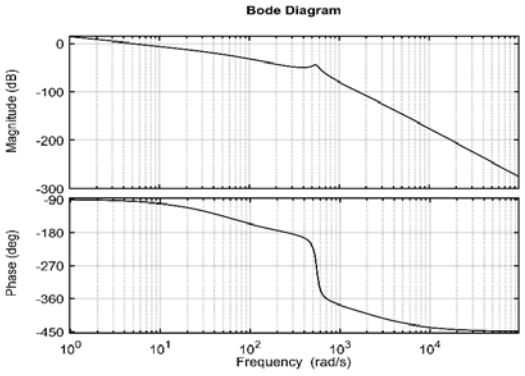


Рисунок 6

Результаты моделирования системы при тех же параметрах, что и для предыдущей системы, представлены на рисунке 7.

По рисункам 7а и 7б видим, что система отвечает требованиям качества: $t_р$=0,55 с, σ=0%, максимальный ток не превысил 0,1 А. Основным же отличием данного метода является более качественное подавление нутационных колебаний (см. рис. 7г). Можем также видеть существенное улучшение работы системы при качке (см. рис. 7в).

Выводы. С помощью обоих способов удалось выполнить главную задачу – обеспечить устойчивость работы контура межрамочной коррекции ОСГС при заданном условии точности. Первым был рассмотрен метод, основанный на построении желаемой ЛАХ по коэффициенту колебательности. Данный метод прост в реализации, т.к. требует измерения только угла прецессии. Недостатками же данного способа являются сложная схема полосно-заграждающего фильтра (который должен отсекать не только нутационный пик, но и высокочастотные колебательные пики, возникающие по другим конструктивным причинам), а также тот факт, что в случае данного регулятора нутационные колебания гасятся только конструктивным демпфированием ОСГС. Стоит отметить, что часто не требуется такая высокая точность работы ОСГС, к тому же использование мотора стабилизации с редуктором может упростить синтез регулятора за счёт изменения динамики системы или вообще сделать систему устойчивой без использования регулятора. Линейно-квадратичный регулятор с интегратором в данном исследовании обеспечил лучшее качество работы контура межрамочной коррекции. С помощью него удалось получить желаемую динамику системы с подавлением нутационных колебаний при реализуемых коэффициентах усиления. Недостатком LQI метода является необходимость измерения полного вектора состояния, что возможно не во всех конструкциях ОСГС. В таком случае необходимо использовать наблюдатель. Каждый из проанализированных методов имеет свои достоинства и недостатки и может быть применён в зависимости от поставленных задач.

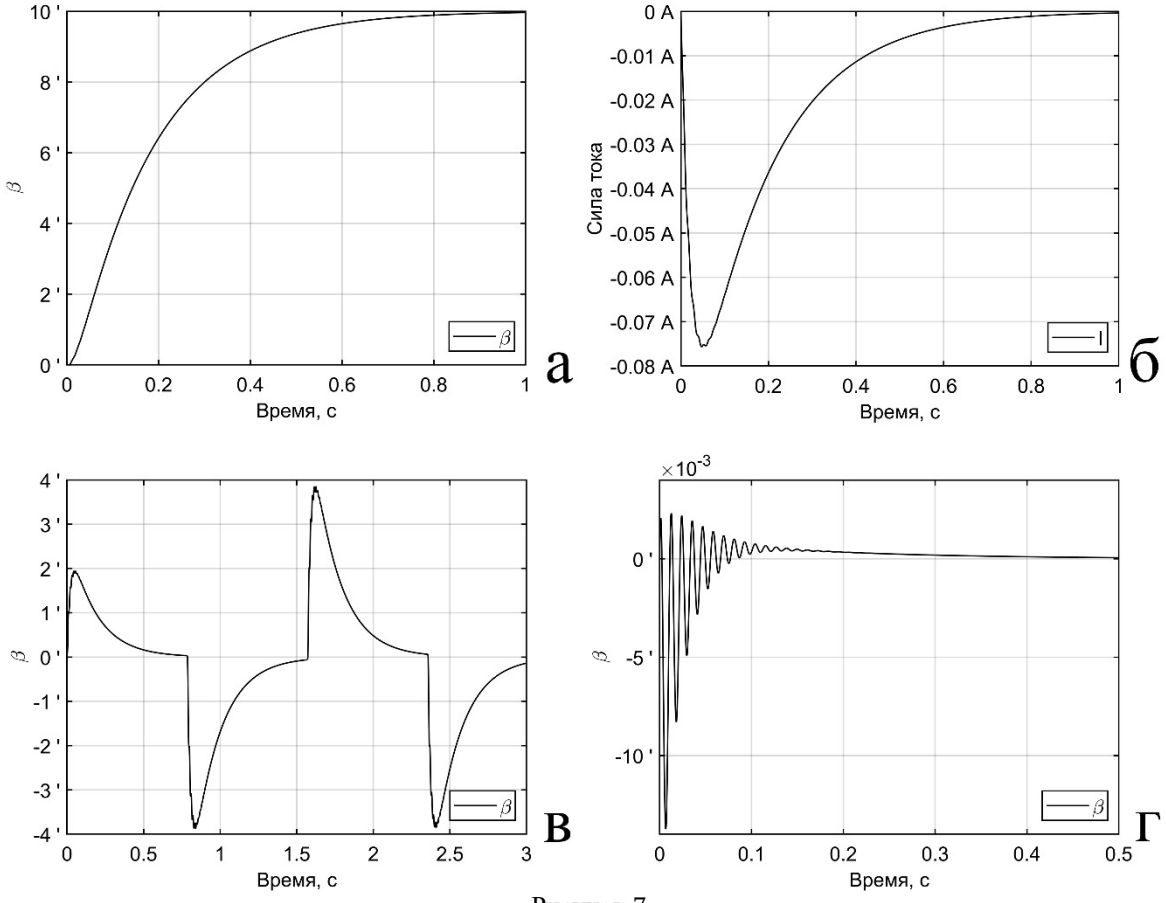


Рисунок 7

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ № 2676951, МПК G01C 7/04. Устройство для определения и регистрации взаимного положения рельсовых нитей в вертикальной плоскости / С.В. Кривошеев, Д.Р. Гатауллина; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ. – № 2017144318; заявл. 18.12.2017; опубл. 11.01.2019, Бюл. № 2. – 15 с.
2. *Бесекерский В.А.* Динамический синтез систем гироскопической стабилизации / В.А. Бесекерский, Е.А. Фабрикант. – Л.: Судостроение, 1968.– 348с.: ил.
3. *Лысов А.Н.* Теория гироскопических стабилизаторов: учебное пособие / А.Н. Лысов, А.А. Лысова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009.– 117с.: ил.

PERFORMANCE COMPARISON STUDY OF CONVENIENT AND LQI REGULATOR USED IN THE GYRO LEVELING CIRCUIT OF A SINGLE-AXIS POWERED GYROSTABILIZER

Lukin K.O.
Kirill.O.Lukin@yandex.ru
Supervisor: V. Garkushenko, Candidate of Technical Sciences, assistant professor.
Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan

In the present work a dynamics comparison of a single-axis powered gyroscope with different controllers was conducted. The controller design for the gyrostabilizer of a particular accuracy to disturbing torque was conducted by means of frequency-response method and linear-quadratic regulator. The advantages and disadvantages of the created regulators are shown.

УДК 531.383

НЕОРТОГОНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

Сабирзянов А.С.
salixzian@yandex.ru
Научный руководитель: А.А. Потапов, к.т.н., доцент
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань

В аннотации кратко описывается суть исследования. Рассмотрены два варианта выставки входных осей четырех датчиков угловой скорости: по схеме "Куб", и по схеме "Тетраэдр". Получены алгоритмы обработки избыточной информации; показана идентичность потенциальных возможностей и повышенная точность измерения проекций угловой скорости на оси подвижного объекта обеих схем установки датчиков.

Большой интерес для разработчиков представляют измерительные блоки инерциальных датчиков с числом датчиков больше трех [1, 2]. В работе рассматривается блок из четырех датчиков, измеряющих проекции векторного параметра подвижного объекта (проекции угловой скорости [3]) на его оси. Рассмотрены два основных варианта выставки входных осей датчиков: по схеме «КУБ» и по схеме «ТЕТРАЭДР».

При расположении датчиков по схеме «КУБ», входные оси выставляются параллельно большим диагоналям куба; при этом у двух датчиков, расположенных на противоположных диагоналях, входные оси направлены в одну сторону (условно «вверх»), а у другой пары датчиков – в противоположную сторону (условно «вниз»).

При расположении датчиков по схеме «ТЕТРАЭДР», входные оси датчиков перпендикулярны гранями тетраэдра.

Связи между используемые системами координат представим в виде:

$$X_c Y_c Z_c \xrightarrow[\gamma_1,\gamma_2,\gamma_3]{(123)\,\boldsymbol{C}_{bc}} X_b Y_b Z_b \xrightarrow[\alpha_i,\beta_i]{(23)\,\boldsymbol{C}_{dib}} X_{di} Y_{di} Z_{di}$$

Рис.1. Связи между используемые системами координат

Здесь $X_cY_cZ_c$ – связанная система координат подвижного объекта; $X_bY_bZ_b$ – система координат, связанная с блоком датчиков; $X_{di}Y_{di}Z_{di}$ – система координат, связанная с *i*-ым датчиком; $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – углы ориентации блока датчиков относительно связанной системы координат ПО; α_i, β_i – углы, определяющие ориентацию выставки входных осей датчиков.

Для рассматриваемых схем ориентация входных осей датчиков представлена в таблице

Таблица

Параметры ориентация входных осей датчиков

i	Схема «КУБ»		Схема «ТЕТРАЭДР»	
	α_i	β_i	α_i	β_i
1	0	β_k	$\frac{\pi}{3}$	β_T
2	π	β_k	π	β_T
3	$-\frac{\pi}{2}$	$-\beta_k$	$-\frac{\pi}{3}$	β_T
4	$\frac{\pi}{2}$	$-\beta_k$	0	$-\frac{\pi}{2}$

Здесь $tg(\beta_k) = \frac{1}{\sqrt{2}}$; $\sin(\beta_T) = \frac{1}{3}$.

Проекции измеряемого вектора угловой скорости на оси *i*-го датчика определяются следующим соотношением: $\boldsymbol{\omega_d = C_{dib} \cdot \omega_c}$; где

$$\boldsymbol{C_{dib}} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_i)\cdot\cos(\beta_i) & \sin(\beta_i) & -\sin(\alpha_i)\cdot\cos(\beta_i) \\ -\cos(\alpha_i)\cdot\sin(\beta_i) & \cos(\beta_i) & \sin(\alpha_i)\cdot\sin(\beta_i) \\ \sin(\alpha_i) & 0 & \cos(\alpha_i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{C_{xdi}} \\ \boldsymbol{C_{ydi}} \\ \boldsymbol{C_{zdi}} \end{bmatrix}; \ \forall \in 1,2,3,4. \qquad (1)$$

Следовательно, алгоритм определения проекций искомого вектора на оси связанной системы координат $\boldsymbol{\omega_c}$ (размерность 3x1) по показаниям датчиков $\boldsymbol{\omega_d}$ (размерность 4x1) примет вид

$$\boldsymbol{\omega_c = S_j \cdot \omega_d}$$

Здесь $\boldsymbol{S_j}$ - матрица преобразования соответствующего алгоритма: $j = k$ - для схемы «КУБ»; $j = T$ - для схемы «ТЕТРАЭДР».

$$\boldsymbol{S_k = A_k^+} = \begin{bmatrix} 0.6124 & -0.6124 & 0.00 & 0.00 \\ 0.4330 & 0.4330 & -0.4330 & -0.4330 \\ 0.00 & 0.00 & 0.6124 & -0.6124 \end{bmatrix};$$

$$\boldsymbol{S_T = A_T^+} = \begin{bmatrix} 0.3536 & -0.7071 & 0.3536 & 0.00 \\ 0.2500 & 0.2500 & 0.2500 & -0.7500 \\ -0.6124 & 0.00 & 0.6124 & 0.00 \end{bmatrix}.$$

Матрица $\boldsymbol{A_j}$ (размера 4x3) формируется из первых строк $\boldsymbol{C_{xdi}}$ матриц (1) $\boldsymbol{C_{dib}}$ $\forall \in 1,2,3,4.$

$$\boldsymbol{A_K} = \begin{bmatrix} 0.8165 & 0.5774 & 0.0000 \\ -0.8165 & 0.5774 & 0.0000 \\ 0.0000 & -0.5774 & 0.8165 \\ 0.0000 & -0.5774 & -0.8165 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{A_T} = \begin{bmatrix} 0.4714 & 0.3333 & -0.8165 \\ -0.9428 & 0.3333 & 0.0000 \\ 0.4714 & 0.3333 & 0.8165 \\ 0.0000 & -1.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

Можно показать, что в обоих вариантах ориентации входных осей датчиков угол между ними одинаков. Вычисления показали, что для обеих схем угол между всеми входными осями датчиков одинаковый и равен 109.4712 градусов.

В ходе исследования установлено, что, если блок датчиков (по схеме «КУБ») развернуть на углы $\gamma_1 = 0, \quad \gamma_2 = \frac{\pi}{3}, \quad \gamma_3 = -(\beta_k - \beta_T)$, то оси его совпадут с осями датчиков по схеме

«ТЕТРАЭДР». Действительно, в этом случае вычисления показывают, что эти углы между соответствующими входными осями датчиков обеих схем – равны нулю.

При этом СКО погрешность определения проекций искомого вектора на оси подвижного объекта в обеих схемах одинаковая и равна $\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 100\%$; т.е. по сравнению с традиционной схемой построения блока на основе трех датчиков с ортогональными входными осями, точность измерения больше на $(1 - \sqrt{0.75}) \cdot 100 = 13.4\ \%$.

Расчеты выполнены на разработанной имитационной модели работы блоков в системе Matlab & Simulink как со стендовыми, таки полетными тестовыми входными сигналами.

Выводы.

1. Построены алгоритмы работы блока четырех датчиков по наиболее распространенным схемам «КУБ» и «ТЭТРАЭДР».
2. Показано, что рассмотренные схемы построения блоков обладают повышенной точностью.
3. Показано, что фактически обе рассмотренные схемы в потенциальном смысле эквивалентны; отличие алгоритмов обработки показаний датчиков определяется только ориентацией самого блока относительно связанной системы координат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ведичева Л.В., Бельский Л.Н., Парышева Ю.В.* Инерциальные измерительные блоки перспективных изделий ракетно-космической техники: обеспечение отказоустойчивости.// Вестник Самарского университета, Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. Т.17, № 1, 2018г., С. 28-44.

2. *Liu, Y.* The Pedestrian Integrated Navigation System with micro IMU/GPS/magnetometer/barometric altimeter [Text] /Y. Liu, T. Cai, H.Yang, C. Liu, J. Song, M. Yu // Gyroscopy and Navigation. – 2016 – Vol. 7, Issue 1 – P. 29–38. doi: 10.1134/

3. *Савельев В.В.* Гироскопы, гироскопические приборы и системы: Учеб. пособие / В.В. Савельев. – 3-е изд. перераб. и дополн.: ТулГУ, 2014 – 236 с.

NON-ORTHOGONAL MEASUREMENT MODULE ANGULAR VELOCITY

Sabirzyanov A. S.

salixzian@yandex.ru

Supervisor: A. A. Potapov, Ph. D., associate Professor

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

The abstract briefly describes the essence of the study. Two variants of the exhibition of the input axes of the four angular velocity sensors are considered: according to the "Cube" scheme, and according to the "Tetrahedron" scheme. Algorithms of processing of redundant information are received; identity of potential opportunities and the increased accuracy of measurement of projections of angular speed on an axis of mobile object of both schemes of installation of sensors is shown.

УДК 681.58

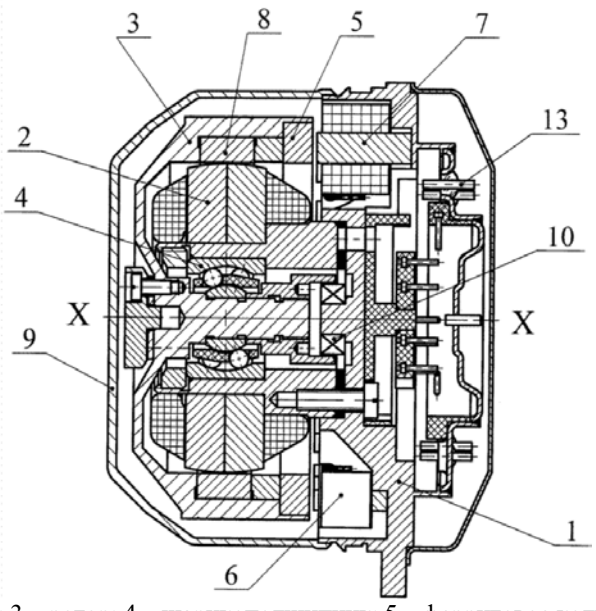
ГИРОСКОП НА СФЕРИЧЕСКОЙ ШАРИКОПОДШИПНИКОВОЙ ОПОРЕ С ЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ДАТЧИКА МОМЕНТА

Самулкин Ф.В.
samulkin2017@inbox.ru
Научный руководитель: А.А. Гуськов, канд. техн. наук, доцент
(Арзамасский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е.Алексеева, г. Арзамас)

В статье рассмотрен малогабаритный гироскоп на сферической шарикоподшипниковой опоре, с линейной статической характеристикой электромагнитного датчика момента. Линейность характеристики датчика момента обеспечивается за счет применения двух систем обмоток электромагнитного датчика: обмоток возбуждения и обмоток управления. В работе проведен анализ предложенной схемы построения моментного преобразователя, разработана математическая модель, получены оценки погрешности линейности в зависимости от угла отклонения ротора гироскопа. представлены результаты численного моделирования.

Объектом исследования является серия малогабаритных гироскопов [1], [2], [3] на сферической шарикоподшипниковой опоре производства АНПП «Темп-Авиа» (г. Арзамас), применяемых в качестве чувствительного элемента индикаторного гиростабилизатора. Подобные датчики обладают малыми массогабаритными характеристиками и высокой надежностью [4].

Типовая конструкция гироскопа на сферической шарикоподшипниковой опоре представлена на рисунке 1. Конструктивно гироскоп содержит корпус 1 с расположенным внутри него гиродвигателем, включающим статор 2 с катушками и ротор 3 на сферической шарикоподшипниковой опоре 4. На корпусе с торца ротора расположены взаимоиндуктивные датчики угла 6 и электромагнитные датчики момента 7. На роторе жестко закреплено ферритовое кольцо 5, служащее подвижным элементом датчика угла и момента.



1 – корпус; 2 – статор; 3 – ротор; 4 – шарикоподшипник; 5 – ферритовое кольцо;6 – датчики угла;
7 – датчики момента; 8 – гистерезисное кольцо двигателя; 9 – кожух; 10 – упорный подшипник; 13 – гермовыводы
Рис. 1. Гироскоп на сферической шарикоподшипниковой опоре [1]

Использование шарикоподшипниковой опоры 4 ротора 3 обеспечивает три степени свободы гироскопа, а так же исключает возможность появления эффекта «сложения рамок карданова подвеса».

Основным недостатком существующей конструкции гироскопа является нелинейная (квадратичная) характеристика датчика момента, не позволяющая его применение в качестве

чувствительного элемента гиростабилизатора или двухканального измерителя угловой скорости без использования дополнительных вычислительных устройств, линеаризующих статическую характеристику датчика момента.

Целью данной работы является повышение точностных характеристик малогабаритного гироскопа на сферической шарикоподшипниковой опоре за счет обеспечения линейной выходной характеристики моментного преобразователя.

Предлагаемая схема построения моментного преобразователя представлена на рисунке 2.

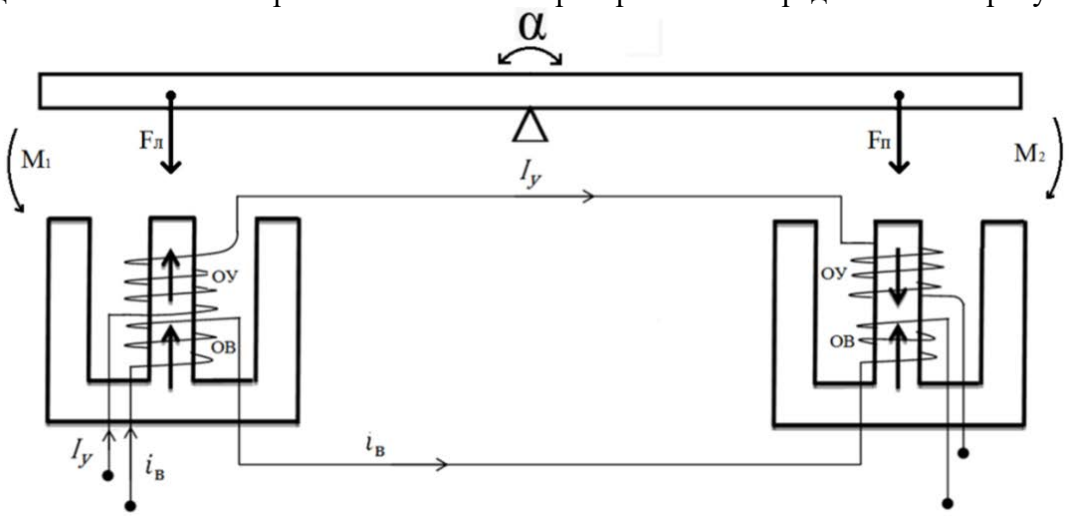


Рис. 2. Схема построения электромагнитного моментного преобразователя

Электромагнитный моментный преобразователь выполнен в виде двух Ш-образных сердечников, на центральных полюсах которых намотаны по две обмотки: возбуждения и обмотки управления, причем на одном сердечнике направление намотки обмоток совпадает, а на другом они расположены встречно.

Момент, создаваемый электромагнитным датчиком момента, определится разностью:

$$\mathrm{M_{ДМ}} = \mathrm{M_1} - \mathrm{M_2} = \frac{dW_{\Sigma 1}}{d\alpha} - \frac{dW_{\Sigma 2}}{d\alpha}, \quad (1)$$

где $\mathrm{M_1}$ и $\mathrm{M_2}$ – моменты, создаваемые левым и правым электромагнитными преобразователями, $W_{\Sigma 1}, W_{\Sigma 2}$ – суммарное значение энергии магнитного поля в зазоре между сердечником и ротором соответственно для левого и правого сердечников, α – угол поворота ротора гироскопа.

Формулу для нахождения энергии магнитного поля для левого сердечника (рисунок 2) можно представить в виде [5]:

$$W_{\Sigma 1} = W_{0л} + 2W_{1л} = \frac{1}{2}\frac{\Phi^2_{В0л}}{G_{В0л}} + \frac{1}{2}\frac{\Phi^2_{В1л}}{G_{В1л}}, \quad (2)$$

где $W_{0л}, W_{1л}$ – значение энергии магнитного поля в зазорах под центральным и боковыми полюсами, $\Phi_{В0л}, \Phi_{В1л}$ – магнитные потоки в зазорах под центральным и боковыми полюсами, $G_{В0л}, G_{В1л}$ – магнитные проводимости соответствующих воздушных зазоров для левого сердечника.

Значение магнитных потоков найдем из схемы замещения магнитной цепи (рисунок 3).

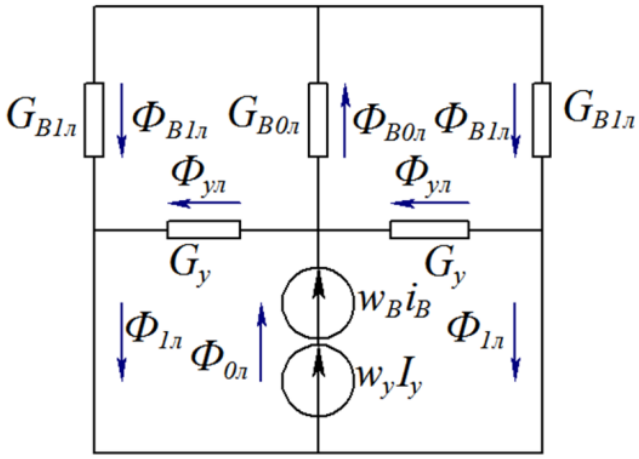


Рис. 3. Схема замещения магнитной цепи

В соответствии со схемой замещения на основе законов Ома и Кирхгофа для магнитной цепи составим систему уравнений:

$$\begin{aligned}
&\Phi_{В0л} = 2\Phi_{В1л},\\
&\Phi_{1л} = \Phi_{ул} + \Phi_{В1л},\\
&\Phi_{0л} = 2\Phi_{1л},\\
&\frac{\Phi_{ул}}{G_y} = w_в i_в + w_y I_y,\\
&\frac{\Phi_{В1л}}{G_{В1л}} + \frac{\Phi_{В0л}}{G_{В0л}} = w_в i_в + w_y I_y,
\end{aligned} \qquad (3)$$

где $\Phi_{1л}$ – магнитный поток, протекающий в боковых полюсах сердечника; $\Phi_{0л}$– магнитный поток, протекающий в центральном полюсе сердечника; Φ_y– магнитный поток, протекающий между боковым и центральным полюсом сердечника (поток «утечки»); G_y – магнитная проводимость воздушного зазора между центральным и боковым полюсом сердечника; $w_в$– число витков обмотки возбуждения; $i_в$– ток в обмотке возбуждения; w_y– число витков обмотки управления; I_y– ток в обмотке управления.

Из системы уравнений (3) определим значения магнитных потоков:

$$\Phi_{В1л} = \frac{1}{2}\left(w_в i_в + w_y I_y\right) \cdot \frac{2G_{В1л}G_{В0л}}{2G_{В1л} + G_{В0л}}, \qquad (4)$$

$$\Phi_{В0л} = \left(w_в i_в + w_y I_y\right) \cdot \frac{2G_{В1л}G_{В0л}}{2G_{В1л} + G_{В0л}}. \qquad (5)$$

Подставляя (4) и (5) в формулу (2), после преобразований получим значение энергии магнитного поля в зазоре между сердечником и ротором гироскопа:

$$W_{Σ1} = \frac{1}{2}\frac{\Phi_{В0л}^2}{G_{В0л}} + \frac{1}{2}\frac{\Phi_{В1л}^2}{G_{В1л}} = \frac{1}{2} \cdot \left(w_в i_в + w_y I_y\right)^2 \cdot \frac{2G_{В1л}G_{В0л}}{2G_{В1л} + G_{В0л}} = \frac{1}{2} \cdot \left(w_в i_в + w_y I_y\right)^2 \cdot G_Σ^л. \qquad (6)$$

где $G_Σ^л = \frac{2G_{В1л}G_{В0л}}{2G_{В1л}+G_{В0л}}$ – суммарное значение магнитной проводимости для левого сердечника.

Тогда момент, развиваемый левым электромагнитным преобразователем, равен:

$$M_1(\alpha) = \frac{1}{2} \cdot \left(w_в i_в + w_y I_y\right)^2 \frac{dG_Σ^л}{d\alpha}. \qquad (7)$$

Аналогично определим момент, создаваемый правым преобразователем.

Магнитная цепь второго (правого) сердечника отличается от первой тем, что обмотки возбуждения и управления намотаны в противоположных направлениях. Следовательно,

значения наводимых потоков будут отличаться от выше вычисленных знаком тока управления:

$$\Phi_{\text{В0п}} = \left(w_{\text{в}} i_{\text{в}} - w_{\text{у}} I_{\text{у}}\right) \cdot \frac{2G_{\text{В1п}} G_{\text{В0п}}}{2G_{\text{В1п}} + G_{\text{В0п}}}, \quad (8)$$

$$\Phi_{\text{В1п}} = \frac{1}{2}\left(w_{\text{в}} i_{\text{в}} - w_{\text{у}} I_{\text{у}}\right) \cdot \frac{2G_{\text{В1п}} G_{\text{В0п}}}{2G_{\text{В1п}} + G_{\text{В0п}}}. \quad (9)$$

Суммарное значение энергии магнитного поля в воздушном зазоре вычисляется аналогично:

$$W_{\Sigma 2} = \frac{1}{2} \cdot \left(w_{\text{в}} i_{\text{в}} - w_{\text{у}} I_{\text{у}}\right)^2 \cdot \frac{2G_{\text{В1п}} G_{\text{В0п}}}{2G_{\text{В1п}} + G_{\text{В0п}}}. \quad (10)$$

Значение момента, создаваемого правым электромагнитным преобразователем равно:

$$\text{M}_2 = \frac{1}{2} \cdot \left(w_{\text{в}} i_{\text{в}} - w_{\text{у}} I_{\text{у}}\right)^2 \frac{dG_{\Sigma}^{\text{п}}}{d\alpha}, \quad (11)$$

где $G_{\Sigma}^{\text{п}} = \dfrac{2G_{\text{В1п}} G_{\text{В0п}}}{2G_{\text{В1п}} + G_{\text{В0п}}}$ – суммарное значение магнитной проводимости для правого сердечника.

По формуле (1) вычислим результирующее значение момента, создаваемого парой электромагнитных моментных преобразователей:

$$\text{M}_{\text{ДМ}} = \frac{1}{2} \cdot \left(w_{\text{в}} i_{\text{в}} + w_{\text{у}} I_{\text{у}}\right)^2 \frac{dG_{\Sigma}^{\text{л}}}{d\alpha} - \frac{1}{2} \cdot \left(w_{\text{в}} i_{\text{в}} - w_{\text{у}} I_{\text{у}}\right)^2 \frac{dG_{\Sigma}^{\text{п}}}{d\alpha}. \quad (12)$$

При нулевом (симметричном) положении его ротора, т.е. при $\alpha = 0$, значения суммарных магнитных проводимостей для левого и правого сердечника одинаковы, а их производные по углу поворота α отличаются знаком, который учитывается при вычитании моментов (1).

Обозначив:

$$\frac{dG_{\Sigma}^{\text{л}}}{d\alpha} = \frac{dG_{\Sigma}^{\text{п}}}{d\alpha} = \frac{dG_{\Sigma}}{d\alpha}, \quad (13)$$

выражение (12) можно преобразовать к виду:

$$\text{M}_{\text{ДМ}} = \frac{1}{2}\left[\left(w_{\text{в}} i_{\text{в}} + w_{\text{у}} I_{\text{у}}\right)^2 - \left(w_{\text{в}} i_{\text{в}} - w_{\text{у}} I_{\text{у}}\right)^2\right] \cdot \frac{dG_{\Sigma}}{d\alpha} = 2 \cdot \left(w_{\text{в}} i_{\text{в}}\right)\left(w_{\text{у}} I_{\text{у}}\right) \cdot \frac{dG_{\Sigma}}{d\alpha} \quad (14)$$

Из полученного выражения следует, что предлагаемая схема построения при нулевом угле отклонения ротора гироскопа обеспечивает линейную статическую характеристику электромагнитного датчика момента.

При отклонении ротора гироскопа от нулевого положения ($\alpha \neq 0$) равенство (13) не выполняется, при этом, в соответствии с (12), момент, развиваемый датчиком момента, равен:

$$\text{M}_{\text{ДМ}} = \frac{1}{2}\left[\left(w_{\text{в}} i_{\text{в}}\right)^2 \left(\frac{dG_{\Sigma}^{\text{л}}}{d\alpha} - \frac{dG_{\Sigma}^{\text{п}}}{d\alpha}\right) + 2\left(w_{\text{в}} i_{\text{в}}\right)\left(w_{\text{у}}\right)\left(\frac{dG_{\Sigma}^{\text{л}}}{d\alpha} + \frac{dG_{\Sigma}^{\text{п}}}{d\alpha}\right) I_{\text{у}} + w_{\text{у}}^2 \left(\frac{dG_{\Sigma}^{\text{л}}}{d\alpha} - \frac{dG_{\Sigma}^{\text{п}}}{d\alpha}\right) I_{\text{у}}^2\right]. \quad (15)$$

Полученная нелинейная модель (15) электромагнитного датчика момента является более полной и позволяет оценить погрешность линейности, обусловленной отклонением ротора от нулевого положения и несимметрией магнитных цепей левого и правого преобразователей.

При работе гироскопа в качестве чувствительного элемента гироскопического стабилизатора максимальный угол отклонения ротора от нулевого положения определяется значением ошибки стабилизации и обычно не превышает двух угловых минут.

На рисунке 4 представлены выходные характеристики гироскопа (в режиме управления), а на рисунке 5 – результаты оценки погрешности линейности статической характеристики гироскопа при отклонении ротора α в пределах ± 2 угл. минут.

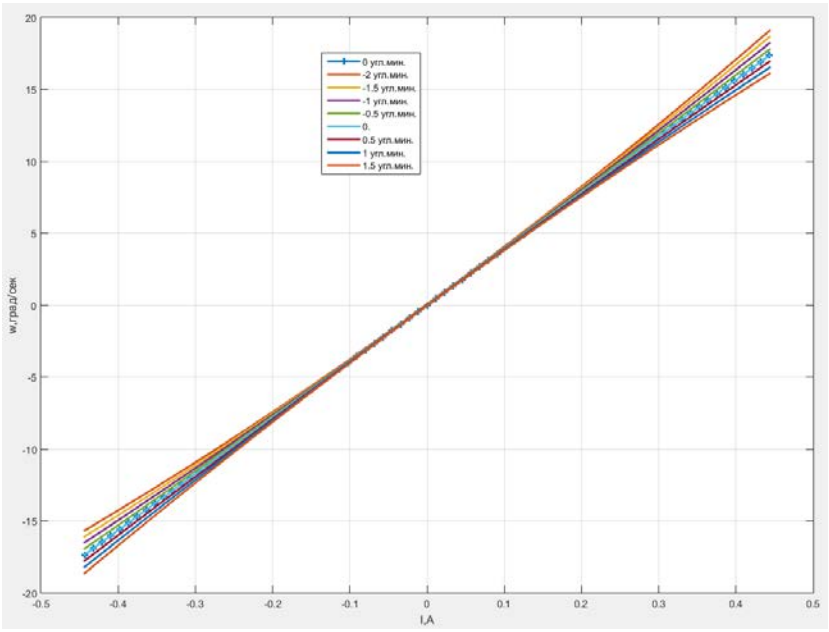


Рис. 4. Статическая характеристика гироскопа
по управлению при угле поворота ротора ± 2 угловые минуты

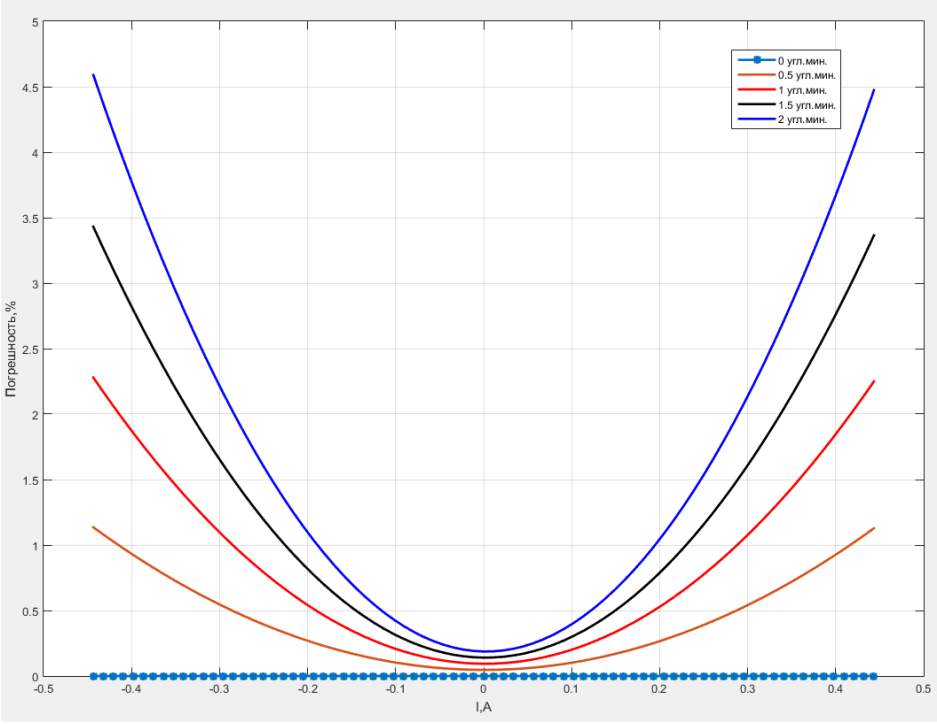


Рис. 5. Оценка погрешности линейности статической характеристики

Результаты моделирования показывают, что применение предлагаемой схемы построения моментного преобразователя, позволят получить линейную выходную характеристику, что обеспечит повышение чувствительности гироскопа и позволит снизить аппаратные затраты за счет упрощения блока электроники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Патент РФ № 2460040, МПК G01C 19/02. Гироскоп (варианты) / Макаров А.М., Кожин В.В., Грязнов Е.А., Уракова Л.Е. [и др.] – № 2011109981/28, заявл. 16.03.2011, опубл. 27.08.2012 Бюл. № 24. – 11 с.: ил.

2. Патент РФ № 2446382, МПК G01C 19/02. Гироскоп / Макаров А.М., Кожин В.В., Грязнов Е.А., Уракова Л.Е. – № 2010133531/28, заявл. 10.08.2010, опубл. 27.03.2012, Бюл. № 9. – 8 с.:

ил.

3. Патент РФ № 2308680, МПК G01C 19/02, G01P 9/04. Гироскоп (варианты) / Гуськов А.А., Макаров А.М., Грязнов Е.А., Уракова Л.Е. – № 2005137296/28; заявл. 30.11.2005, опубл. 10.06.2007, Бюл. № 29. – 8 с.: ил.

4. *Распопов В.Я.* Гироскопы с шарикоподшипниковым подвесом: Монография. – Тула: Тул. гос. университет, 2003. – 176 с.

5. Гироскопические системы: Элементы гироскопических приборов: Учебник для вузов по спец. «Гироскоп. приборы и устройства». / Никитин Е.А., Шестов С.А., Матвеев В. А.; Под ред. Д.С. Пельпора. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1988. — 432 с.

GYRO ON A SPHERICAL BALL BEARING SUPPORT WITH A LINEAR OUTPUT SIGNAL OF THE ELECTROMAGNETIC SENSOR

Samulkin F.

samulkin2017@inbox.ru

Academic adviser: A.A. Gus'kov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

(Arzamas Polytechnic Institute, Branch of Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Arzamas)

The article describes a compact gyroscope on a spherical ball bearing support, with a linear static characteristic of an electromagnetic sensor. The linearity of the characteristic is ensured by the use of two systems of electromagnetic sensor windings: field windings and control windings. In this paper, an analysis of the proposed sensor construction scheme was carried out, a mathematical model was developed, linearity error estimates were obtained depending on the gyroscope rotor deflection angle, numerical simulation results were presented.

УДК 629.7

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ КАНАЛА РУЛЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИ УСТРАНЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ

Соколова А.А.

anyasokolova@bk.ru

Научный руководитель: В.И. Гаркушенко, к.т.н., доцент

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

Проблема, возникающая при построении систем управления для многорежимных беспилотных летательных аппаратов, заключается в сохранении качества переходных процессов управления при значительных изменениях параметров движения: при постоянстве передаточных чисел наблюдается ухудшение качества управления, а при непрерывном расчете оптимальных передаточных чисел, в том или ином понятии оптимальности, возрастают вычислительные нагрузки на контур управления. Задачей, на решение которой направлен проект, является создание системы адаптивного управления многорежимными беспилотных летательных аппаратов с неизменным откликом по управлению, независимо от высоты и скорости движения объекта.

Задачей, на решение которой направлено исследование, является создание системы адаптивного управления многорежимными беспилотными летательными аппаратами. Система обеспечивает возможность расчета оптимальных передаточных чисел законов управления рулями летательного аппарата в реальном режиме времени. Оптимальность передаточных чисел обеспечивает неизменность качества управления во всем эксплуатационном диапазоне высот и скоростей, что чрезвычайно актуально для многорежимных летательных аппаратов.

В качестве методов построения контуров управления, обеспечивающих неизменность качества управления в каждом режиме полета самолета, предполагается использовать интегрально-квадратичные критерии качества. Данный подход является дальнейшим

развитием работ научной школы по созданию систем управления, сложившимся на базе кафедры Автоматики и управления КНИТУ-КАИ. Особенностью предлагаемых методов является простота их технической реализации в реальном режиме времени на борту летательного аппарата.

Решение задачи построения пилотажно-навигационных комплексов позволит обеспечить создание перспективных авиационных комплексов с использованием современной элементной базы, обеспечивающих неизменное качество управления на всем диапазоне высотно-скоростных характеристик летательных аппаратов. Эта задача особенно актуальна для тяжелых летательных аппаратов наземного базирования и беспилотных систем, модернизируемым и вновь создаваемым предприятиями.

Автопилоты управляющие рысканьем через крен называются автопилотами перекрестной схемы. Такой способ управления позволяет улучшить маневренность по курсу, время регулирования по курсу в таком варианте составляет 8-16 секунд, в то время как при плоском развороте время регулирования может достигать 30 секунд.

Обязательным требованием в данном случае является отсутствие перерегулирования по курсу.

Канал руля направления устраняет скольжение летательного аппарата, причем канал руля направления обеспечивает астатическое управление, это значит, что в установившемся режиме вираж будет правильным.

Уравнения бокового движения самолета с учетом взаимосвязи движений рысканья и крена имеют следующее математическое описание:

$$\begin{cases} \frac{d\beta}{dt} + k_\beta \beta - a_0 \frac{d\gamma}{dt} - \frac{d\psi}{dt} - k_\gamma \gamma = 0; \\ \frac{d^2\gamma}{dt^2} + l_\beta \beta + l_{\dot\gamma} \frac{d\gamma}{dt} + l_\psi \frac{d\psi}{dt} = -l_э \delta_э; \\ \frac{d^2\psi}{dt^2} + n_\beta \beta + n_\psi \frac{d\psi}{dt} = -n_н \delta_н. \end{cases} \quad (1)$$

Часто задачу проектирования автопилота курса перекрестной схемы упрощают, практически без существенных потерь в динамике переходных процессов. С целью упрощения задачу управления курсом с этой схемой разбивают на две задачи, не связанные между собой.

Первая – устранение скольжения с помощью руля направления. Вторая – стабилизация курса и крена самолета с помощью элеронов. В данном докладе рассмотрим только первую задачу.

Система уравнений (1) распадется на две независимые подсистемы. Предположим, что автомат элеронов обладает высоким быстродействием, и равенство моментов относительно продольной оси устанавливается очень быстро. Тогда можно считать, что $\gamma = \frac{d\gamma}{dt} = 0$.

В этом случае в системе уравнений (1) нужно оставить первое и третье уравнение, а второе исключить из рассмотрения.

Функциональная схема канала руля направления для управления рысканьем представлена на рисунке 1.

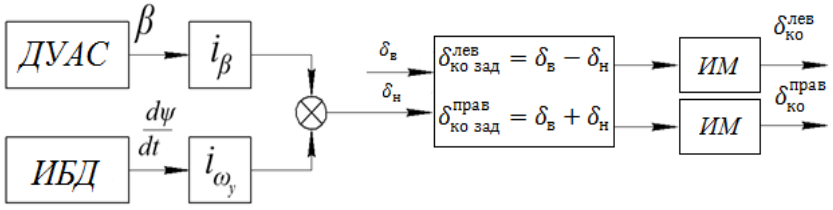


Рисунок 1 - Функциональная схема канала руля направления для управления рысканьем

где ДУАС – датчик углов атаки и скольжения, ИБД – интегральный блок датчиков, ИМ – исполнительный механизм.

Рассмотрим систему, состоящую из первого и третьего уравнения системы (1) и закона управления канала руля направления:

$$\begin{cases} \frac{d\beta}{dt} + k_\beta \beta - a_0 \frac{d\gamma}{dt} - \frac{d\psi}{dt} - k_\gamma \gamma = 0; \\ \frac{d^2\psi}{dt^2} + n_\beta \beta + n_\psi \frac{d\psi}{dt} = -n_H \delta_H; \\ T_H \frac{d^2\delta_H}{dt^2} + \frac{d\delta_H}{dt} + c_H \delta_H = c_\beta \beta + c_\psi \frac{d\psi}{dt}. \end{cases} \quad (2)$$

где T_H – постоянная времени пуска приводного двигателя руля направления, характеризующая запаздывание двигателя,

C_H – динамический коэффициент обратной связи,

C_β, C_ψ – динамические передаточные числа канала руля направления. Которые связаны с передаточными числами соотношениями:

$$i_\beta = \frac{C_\beta}{C_\beta};\ i_\psi = \frac{C_\psi}{C_H}.$$

Коэффициенты характеристического полинома передаточной функции системы $\Phi(p) = \frac{\beta(p)}{U_H(p)}$ представлены в (3).

$$\begin{aligned} a_0 &= 1; \\ a_1 &= k_\beta + n_\psi + \frac{1}{T_H}; \\ a_2 &= \frac{k_\beta + n_\psi}{T_H} + \frac{C_H}{T_H} + n_\beta + k_\beta n_\psi; \quad (3) \\ a_3 &= \frac{(k_\beta + n_\psi)C_H}{T_H} + \frac{n_\beta + k_\beta n_\psi}{T_H} + \frac{n_H}{T_H} C_\beta; \\ a_4 &= \frac{(n_\beta + k_\beta n_\psi)C_H}{T_H} + \frac{n_H}{T_H} C_\beta + \frac{n_\beta + k_\beta n_\psi}{T_H} + \frac{n_H k_\beta}{T_H} C_\psi \end{aligned}$$

Выбираем опорный режим полета, для которого покажем применимость для всех остальных режимов, с целью упрощения построения контура управления (отсутствия настраиваемых в полете передаточных чисел) и находим передаточные числа для переходного процесса по параметру β с перерегулированием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Соколова А.А., Зайцева Н.С.* Оптимальное управление углом крена. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017615912, 30 марта 2017г.

2. *Соколова А.А., Зайцева Н.С.* «Система оптимального управления угловым движением многорежимных летательных аппаратов». Гагаринские чтения – 2017: XLIII Международная молодежная научная конференция: Сборник тезисов докладов: М.; Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2017.

SELECTION OF THE OPTIMUM RATIOS OF CHANNEL RUDDER WHILE ELIMINATING SLIP

Sokolova A.A.

anyasokolova@bk.ru

Supervisor: V.I. Garkushenko, PhD, ass. prof.

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

The problem that arises in the construction of control systems for multi-mode unmanned aerial vehicles is to maintain the quality of the control transients with significant changes in the motion parameters: with the constancy of the gear ratios, there is a deterioration in the quality of control, and with the continuous calculation of the optimal gear ratios, in a particular concept of optimality, increase the computational load on the control loop. The task, to solve

which the project is aimed, is to create a system of adaptive control of multi-mode unmanned aerial vehicles with a constant response to control, regardless of the height and speed of the object.

УДК 62-503.51

СИНТЕЗ НАБЛЮДАТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ ПОДВЕСКОЙ АВТОМОБИЛЯ

Спациян А.В.
spats94@gmail.com
Научный руководитель: А.И.Маликов, д-р. физ-мат. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Аннотация. Предложен синтез наблюдателя для системы подвески автомобиля методом минимизации эллипсоида, оценивающим ошибку наблюдателя. В результате получен наблюдатель, который эффективно восстанавливает вектор состояния системы при ненулевых начальных условиях и внешних неопределённых возмущениях.

Введение

Основная роль системы подвески транспортного средства заключается в обеспечении комфорта пассажиров и безопасном движении транспортного средства. Подвеска должна действовать как фильтр для удаления нежелательных вибрации, чтобы обеспечивать безопасное движение и комфорт для пассажиров.

Выбор динамической модели зависит от движения подвески транспортного средства, которое представляет интерес. Основными движениями, как правило, считаются вертикальные, латеральные и продольные движения, т.е. углы крена φ, рысканья ψ и тангажа θ.

Цель исследования заключается в том, чтобы разработать более эффективные алгоритмы управления этим типом подвески.

1. Математическая модель подвески автомобиля

Рассмотрим задачу о управления подвеской автомобиля. Рассмотрим математическую модель подвески двух колес [1] (переднего и заднего колеса). В которой $z_{sf}(t)$ используется для обозначения перемещения передней части кузова, $z_{sr}(t)$ означает перемещения задней части кузова, l_1 это расстояние между передней осью и центром массы, l_2 является расстоянием между задней осью и центром массы, $\varphi(t)$ является углом тангажа и $z_c(t)$ является смещение центра масс. Масса кузова обозначается следующим образом m_s, неподрессоренные массы на переднем и заднем колесах обозначаются через m_{uf} и m_{ur}, момент инерции по центру массы обозначается через I_φ, передние и задние перемещения обозначаются через z_{rf} и z_{rr} соответственно, а также жесткость пассивных элементов переднего и заднего колес c_{sf} и c_{sr}. Жесткость передних и задних шин k_{sf} и k_{sr}, и соответственно представляют собой передние и задние входы привода u_f и u_r.

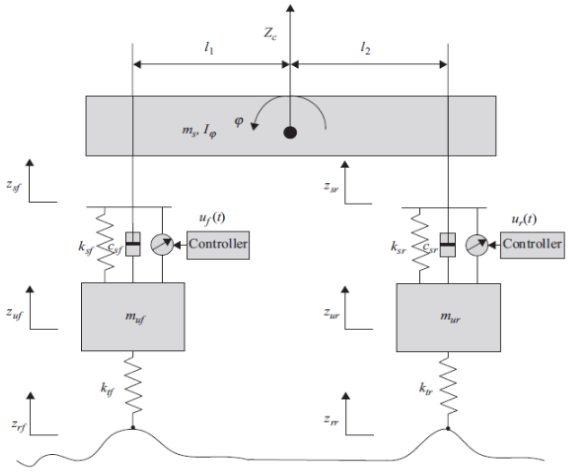


Рис. 1. Модель подвески транспортного средства

С учетом малого угла тангажа $\varphi(t)$ в [2], полагаем, что

$$z_{sf}(t) = z_c(t) - l_1\varphi(t); \tag{1}$$

$$z_{sr}(t) = z_c(t) - l_2\varphi(t). \tag{2}$$

Тогда, имеем

$$\begin{aligned}
&m_s z_c(t) + k_{sf}\left[z_{sf}(t) - z_{uf}(t)\right] + c_{sf}\left[\dot z_{sf}(t) - \dot z_{uf}(t)\right] + k_{sr}\left[z_{sr}(t) - z_{ur}(t)\right] \\
&+ c_{sr}\left[\dot z_{sr}(t) - \dot z_{ur}(t)\right] = u_f(t) + u_r(t); \\
&I_\varphi \ddot\varphi(t) - l_1 k_{sf}\left[z_{sf}(t) - z_{uf}(t)\right] - l_1 c_{sf}\left[\dot z_{sf}(t) - \dot z_{uf}(t)\right] + l_2 k_{sr}\left[z_{sr}(t) - z_{ur}(t)\right] \\
&+ l_2 c_{sr}\left[\dot z_{sr}(t) - \dot z_{ur}(t)\right] = -l_1 u_f(t) + l_2 u_r(t); \\
&m_s z_{uf}(t) - k_{sf}\left[z_{sf}(t) - z_{uf}(t)\right] - c_{sf}\left[\dot z_{sf}(t) - \dot z_{uf}(t)\right] + k_{tf}\left[z_{uf}(t) - z_{rf}(t)\right] = -u_f(t); \\
&m_s z_{ur}(t) - k_{sr}\left[z_{sr}(t) - z_{ur}(t)\right] - c_{sr}\left[\dot z_{sr}(t) - \dot z_{ur}(t)\right] + k_{tr}\left[z_{ur}(t) - z_{rr}(t)\right] = -u_r(t).
\end{aligned} \tag{3}$$

Из (1)-(3) видно, что

$$\begin{aligned}
&\ddot z_{sf}(t) = \ddot z_c(t) - l_1\ddot\varphi(t) = a_1\left\{u_f(t) - k_{sf}\left[z_{sf}(t) - z_{uf}(t)\right] - c_{sf}\left[\dot z_{sf}(t) - \dot z_{uf}(t)\right]\right\} \\
&+ a_2\left\{u_r(t) - k_{sr}\left[z_{sr}(t) - z_{ur}(t)\right] - c_{sr}\left[\dot z_{sr}(t) - \dot z_{ur}(t)\right]\right\}; \\
&\ddot z_{sr}(t) = \ddot z_c(t) - l_2\ddot\varphi(t) = a_2\left\{u_f(t) - k_{sf}\left[z_{sf}(t) - z_{uf}(t)\right] - c_{sf}\left[\dot z_{sf}(t) - \dot z_{uf}(t)\right]\right\} \\
&+ a_3\left\{u_r(t) - k_{sr}\left[z_{sr}(t) - z_{ur}(t)\right] - c_{sr}\left[\dot z_{sr}(t) - \dot z_{ur}(t)\right]\right\};
\end{aligned} \tag{4}$$

где

$$a_1 = \frac{1}{m_s} + \frac{l_1^2}{I_\varphi}, \quad a_2 = \frac{1}{m_s} - \frac{l_1 l_2}{I_\varphi}, \quad a_3 = \frac{1}{m_s} + \frac{l_2^2}{I_\varphi}.$$

Определили следующие переменные вектора состояния: $x_1(t) = z_{sf}(t) - z_{uf}(t)$ отклонение подвески передней части кузова автомобиля, $x_2(t) = z_{sr}(t) - z_{ur}(t)$ отклонение подвески задней части кузова автомобиля, $x_3(t) = z_{uf}(t) - z_{rf}(t)$ деформация передней шины, $x_4(t) = z_{ur}(t) - z_{rr}(t)$ деформация задней шины, $x_5(t) = \dot z_{sf}(t)$ вертикальная скорость переднего части кузова автомобиля, $x_6(t) = \dot z_{sr}(t)$ вертикальная скорость задней части кузова автомобиля, $x_7(t) = \dot z_{uf}(t)$ вертикальная скорость переднего колеса и $x_8(t) = \dot z_{ur}(t)$ вертикальная скорость заднего колеса, , $x_9(t) = \dot z_{sf}(t) - \dot z_{uf}(t)$ скорость сжатия передней подвески и $x_{10}(t) = \dot z_{sr}(t) - \dot z_{ur}(t)$ скорость сжатия задней подвески. Входные возмущения $w(t) = \begin{bmatrix} \dot z_{rf}(t) \\ \dot z_{rr}(t) \end{bmatrix}$ и в результате имеем вектор состояния в виде

$$x(t)=\left[x_1^T(t)\quad x_2^T(t)\quad x_3^T(t)\quad x_4^T(t)\quad x_5^T(t)\quad x_6^T(t)\quad x_7^T(t)\quad x_8^T(t)\quad x_9^T(t)\quad x_{10}^T(t)\right]^T;$$

$$u(t)=\begin{bmatrix}u_f(t)\\ u_r(t)\end{bmatrix}.$$

можем выразить уравнения (3) и (4) в форме пространства состояний:

$$\dot{x}(t)=Ax(t)+B_1u(t)+Dw(t) \tag{5}$$

$$A=\begin{bmatrix}
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0\\
-a_1k_{sf} & -a_2k_{sr} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -a_1c_{sf} & 0\\
-a_2k_{sf} & -a_3k_{sr} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_2c_{sf}\\
\frac{k_{sf}}{m_{uf}} & 0 & -\frac{k_{tf}}{m_{uf}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{c_{sf}}{m_{uf}} & 0\\
0 & \frac{k_{sr}}{m_{ur}} & 0 & -\frac{k_{tr}}{m_{ur}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{c_{sr}}{m_{ur}}\\
0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0
\end{bmatrix};$$

$$B_1=\begin{bmatrix}
0 & 0 & 0 & 0 & a_1 & a_2 & -\frac{1}{m_{uf}} & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & a_2 & a_3 & 0 & -\frac{1}{m_{ur}} & 0 & 0
\end{bmatrix}^T; \tag{6}$$

$$D=\begin{bmatrix}
0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{bmatrix}^T.$$

Для управления активной подвеской следует заметить, что комфорт езды и способность “удерживать дорогу” - это две ключевые характеристики, которые необходимо учитывать [2]. Признано, что комфорт езды связан с вертикальным ускорением, испытываемым кузовом автомобиля. В этом исследовании в качестве управляемого вектора выбираются как линейное, так и угловое ускорение, а именно

$$z_1(t)=\begin{bmatrix}\ddot{z}_c(t)\\ \ddot{\varphi}(t)\end{bmatrix}. \tag{7}$$

Из приведенных выше условия (6) и (7); для активной системы подвески транспортного средства можно переписать следующим образом:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t)&=Ax(t)+B_1u(t)+Dw(t);\\ z_1(t)&=C_1x(t)+B_1u(t);\end{aligned} \tag{8}$$

где A, B_1 и D определены в (6), и

$$C_1 = \begin{bmatrix} -\frac{k_{sf}}{m_s} & -\frac{k_{sr}}{m_s} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{c_{sf}}{m_s} & -\frac{c_{sr}}{m_s} \\ \frac{l_1 k_{sf}}{I_\varphi} & -\frac{l_2 k_{sr}}{I_\varphi} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{l_1 c_{sf}}{I_\varphi} & -\frac{l_2 c_{sr}}{I_\varphi} \end{bmatrix};$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{m_s} & \frac{1}{m_s} \\ -\frac{l_1}{I_\varphi} & \frac{l_2}{I_\varphi} \end{bmatrix}. \qquad (9)$$

Синтез управления в виде обратной связи по состоянию для повышения комфорта езды водителя производится на основе подхода, предложенного в [3]. Эффективность предлагаемого управления оценивается численным моделированием.

2. Синтез наблюдателя состояния по результатам измерений на основе решения ЛМН

Во многих случаях оказываются доступными для измерения не все, а только часть координат состояния или их комбинация. Для того чтобы иметь возможность реализовать на практике синтезированный закон управления в виде обратной связи по состоянию, требуется построить наблюдатель, вектор состояния которого будет давать оценку вектора состояния $\hat{x}(t)$ в моменты времени t. При этом управление берется в виде обратной связи по состоянию наблюдателя, т.е. $u(t) = K(t)\hat{x}(t)$.

Рассматривается система (8) с неопределенными возмущениями и неполной информацией о векторе состояния, т.е. измеряются только компоненты вектора выхода

$$y = C_y x + \xi, \ y \in R^k, \ k < n,$$

где - $C_y - k \times n$ матрица, в общем случае зависящая от времени, ξ - вектор погрешностей измерений, для которого имеет место ограничений

$$\xi\xi^T \le R_2,$$

где $R_2 > 0$ - заданная положительно определенная $k \times k$ матрица.

Для рассматриваемой системы требуется синтезировать наблюдатель вектора состояния по результатам измерений в виде [3] (аналога фильтра Калмана для детерминированной системы с неопределенными возмущениями)

$$\frac{d\hat{x}}{dt} = A\hat{x} + B_1 u + L\left(y - C_y \hat{x}\right),$$

где матрица L коэффициентов усиления наблюдателя выбирается из условия обеспечения сходимости наблюдателя и минимума предельного множества эллипсоидальной оценки для ошибки оценивания

$$\varepsilon = x - \hat{x}.$$

Теорема [4]. Решение Q* и Y* задачи минимизации

$$Tr(Q) \to \min$$

при ограничениях

$$\begin{pmatrix} A^T P + PA - YC - C^T Y^T + (q_1 + q_2)P & D & Y \\ D^T & -q_1 I & 0 \\ Y^T & 0 & -q_2 R_2^{-1} \end{pmatrix} \le 0, \qquad (10)$$

$$\begin{pmatrix} Q & I \\ I & P \end{pmatrix} \ge 0, \qquad (11)$$

где минимизация проводится по матричным переменным $Q = Q^T, P = P^T \in R^{n\times n}, Y \in R^{n\times k}$, и числовым параметрам q_1, q_2, определяет матрицу Q^* минимального инвариантного эллипсоида, а также соответствующую этому эллипсоиду матрицу $L = Q^* Y^*$ коэффициентов наблюдателя состояния (8) и параметры q_1, q_2.

Для решения задач оптимизации с ЛМН (10), (11) применяется пакет CVX для MatLab [3]. Фрагмент программы для синтеза параметров наблюдателя представлен ниже.

Были получены коэффициенты усиления наблюдателя

$$L = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 0.0067 & 0.0047 & -0.0001 & -0.0001 \\ 0.0047 & 0.0034 & 0.0002 & -0.0001 \\ -0.0002 & 0.0006 & -0.0063 & -0.0241 \\ 0.0005 & -0.0005 & -0.0242 & -0.0001 \\ -0.1047 & 0.0527 & 1.6185 & -1.1734 \\ 0.0292 & -0.1249 & -1.2535 & 1.8915 \\ 0.0119 & 0.0207 & -3.8130 & 0.1057 \\ 0.0224 & 0.0015 & 0.0944 & -3.8355 \\ -0.0001 & 0.0002 & 0.1086 & -0.0125 \\ -0.0001 & -0.0001 & -0.0125 & 0.1114 \end{bmatrix}.$$

3. Численное моделирование

Для оценки характеристик подвески в отношении хорошего комфорта, при перемещения транспортного средства и рабочей части подвески учитывается изменчивость профилей дороги. В контексте активных характеристик подвески дорожные помехи обычно можно рассматривать как удары. В этой работе профиль дается в виде

$$z_{rf} = \begin{cases} \frac{A}{2}\left(1 - \cos\left(\frac{2\pi V}{L} t\right)\right), & if\ 0 \le t \le \frac{L}{V} \\ 0 & if\ t > \frac{L}{V} \end{cases}. \qquad (13)$$

где A и L - высота и длина рельефа. Предположим, что $A = 0.05\,m$, $L = 2\,m$ и скорость автомобиля $V = 20\,km/час$.

Ниже представлены графики переходных процессов с возмущением

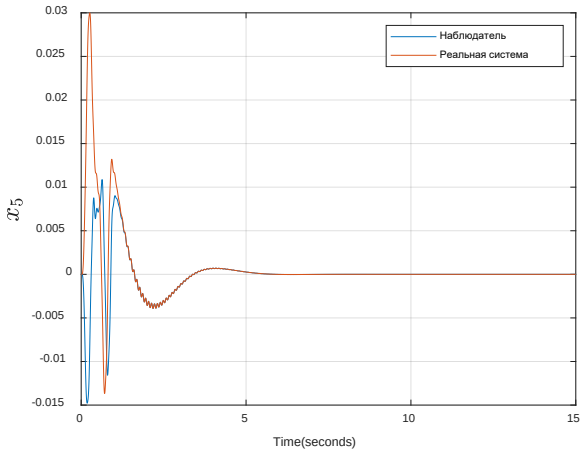


Рис. 2. Вертикальная скорость передней части кузова автомобиля

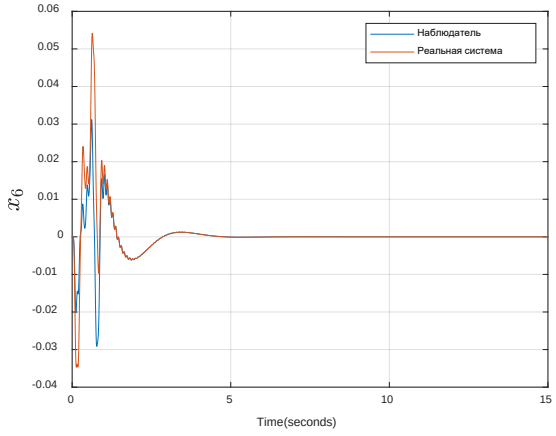


Рис. 3. Вертикальная скорость задней части кузова автомобиля

Как можно видеть из рис. 2, 3 система с наблюдателем L справляется с восстановлением вектора состояния. Из этого можно сделать вывод, что синтез наблюдателя на основе эллипсоидальной оценке множества состояний для процессов системы весьма эффективно для решения задачи управления системой подвески транспортных средств.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-08-01045а)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Honghai Liu, Huijun Gao, Ping Li* Handbook of Vehicle Suspension Control Systems. London: The Institution of Engineering and Technology, 2014. 408 c.

2. *Du H., Zhang N.* Constrained H_∞ control of active suspension for a half-car model with a time delay in control // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2008. 222(5). P. 665–684.

3. *Маликов А.И.* Оценивание состояния и стабилизация непрерывных систем с неопределенными не-

линейностями и возмущениями // Автоматика и телемеханика. 2016. № 5. С. 19–36.

4. *Маликов А.И.* Синтез наблюдателей состояния для нелинейных липшицевых систем с неопределенными ограниченными по L_∞ норме возмущениями // Вестник КГТУ им.А.Н.Туполева, 2016. №3. С. 128–140.

SYNTHESIS OF THE OBSERVER FOR THE CONTROL SYSTEM OF ACTIVE CAR SUSPENSION

A.V.Spatsiyan

spats94@gmail.com

Supervisor: A.I.Malikov doctor of physical and mathematical sciences, professor

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

Abstract: A synthesis of the observer for the car suspension system by the method of minimizing an ellipsoid, estimating the observer's error, is proposed. As a result, an observer was obtained that effectively restores the state vector of the system under nonzero initial conditions and external indeterminate perturbations.

УДК 519.71

СТЕНД ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА

Спиридонов И.О., Кудрявцев И.Д.

igor.georg.2@gmail.com

Научный руководитель: Дегтярев Г. Л., д.т.н., профессор

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

Аннотация: На основе уравнений Лагранжа 2 рода разработана математическая модель стенда полунатурного моделирования (СПМ) системы стабилизации оптико-электронного прибора. Разработанная модель реализована в программной системе Matlab/Simulink. Приведены примеры моделирования. Разработанная модель может применяться при проверке конструктивных решений и проектировании законов управления СПМ.

В настоящее время при поиске и сопровождении различных целей с борта подвижных объектов широкое применение получили системы стабилизации и наведения линии визирования оптико-электронных приборов (ОЭП) [1,2]. Специфика задач, решаемых такими системами, требует высокой точности стабилизации линии визирования полезной оптико-электронной нагрузки при действии внешних возмущений без превышения заданного

энергопотребления [3]. Для автоматизации процедур настройки параметров систем стабилизации ОЭП, проверки различных конструктивных решений на соответствие требованиям технического задания, настройки и испытаний изделий используются стенды полунатурного моделирования (СПМ). При разработке СПМ необходимо решить задачи проектирования законов управления СПМ, проверки различных конструктивных решений на реализуемость. Для решения этих задач требуется математическая модель СПМ. В данной работе на основе метода Лагранжа разработана математическая модель СПМ. Разработанная модель реализована в программной системе Matlab/Simulink. Приведены результаты моделирования.

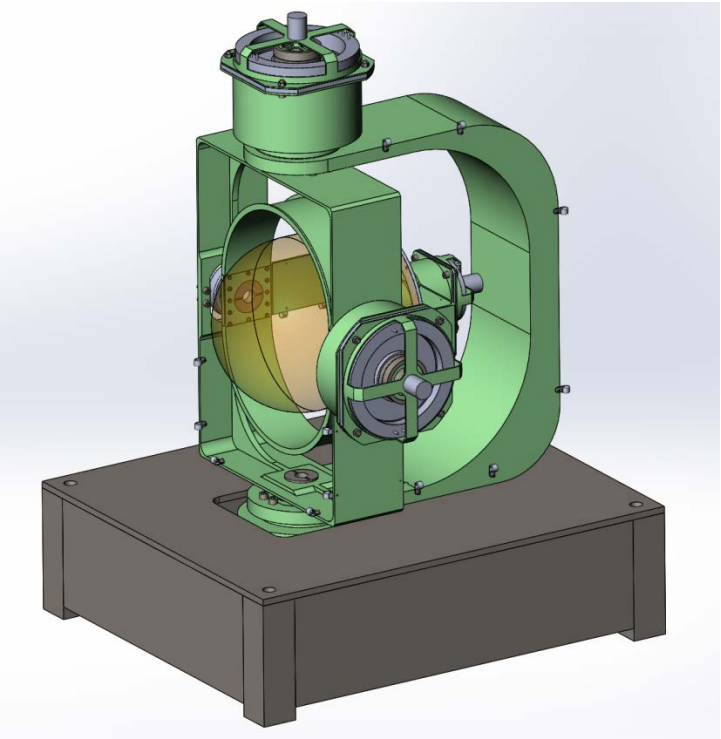


Рис. 1. Стенд полунатурного моделирования

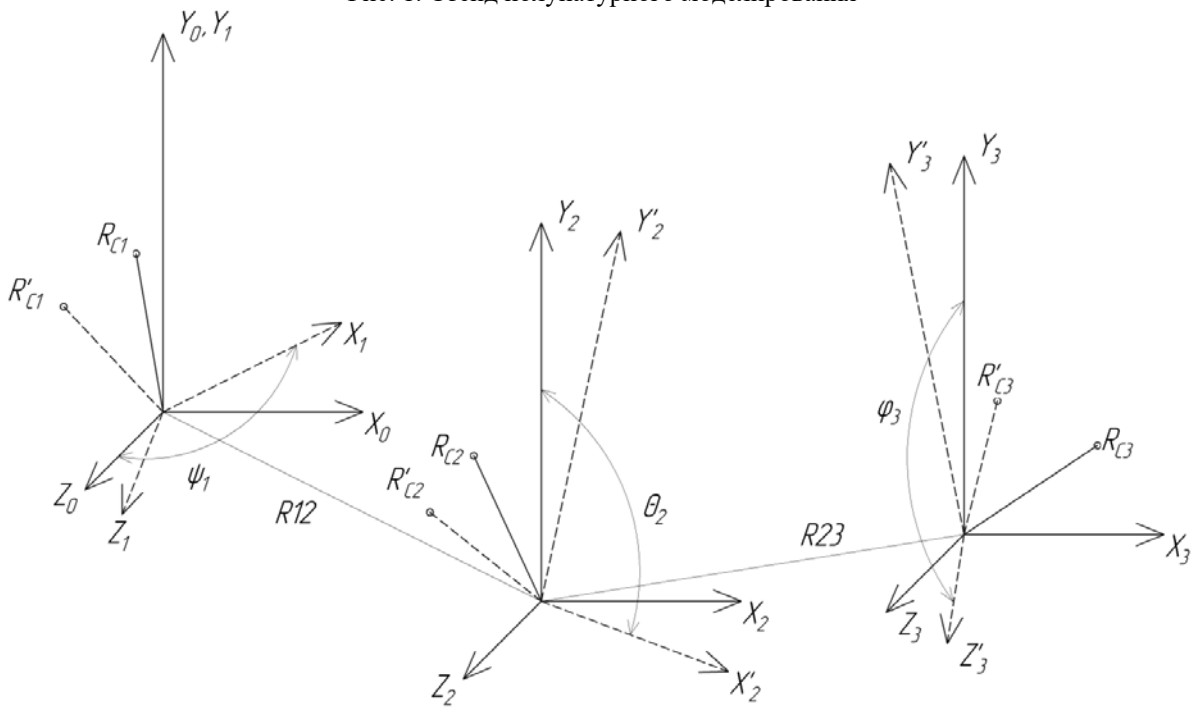


Рис. 2. Система координат стенда полунатурного моделирования

Используются следующие системы координат: $O_i x_0 y_0 z_0$ – неподвижная система координат, связанная с Землей; $O_i x_1 y_1 z_1$ – система координат курсовой рамки СПМ, $O_i x_2 y_2 z_2$ – система координат тангажной рамки СПМ, $O_i x_3 y_3 z_3$ – система координат креновой рамки СПМ.

Система координат $O_i x_i y_i z_i$ ($i = 1,2,3$) связана с телом i; ее начало (точка O_i) определено постоянным в предыдущей системе координат вектором $\overline{R}_{i-1,i}$. Постоянный в осях $O_i x_i y_i z_i$ ($i = 1,2,3$) вектор $\overline{R_{ci}}$, $i = 1,2,3$ определяет положение центра масс тела i.

Ось $O_1 y_1$ и $O_0 y_0$ совпадают. При повороте системы координат курсовой рамки на угол θ_2 относительно оси $O_1 z_1$ ее ориентация совпадает с ориентацией осей системы координат $O_2 x_2 y_2 z_2$. При повороте системы координат $O_2 x_2 y_2 z_2$ на угол φ_3 относительно оси $O_2 x_2$ ее ориентация совпадает с ориентацией осей системы $O_3 x_3 y_3 z_3$. Таким образом, угловое положение систем координат $i = 1,2,3$ по отношению к предыдущим определяется с переменными углами ψ_1, θ_2, φ_3, соответственно Поскольку оси $O_1 y_1$ и $O_0 y_0$ совпадают, то $x_{0,1} = y_{0,1} = z_{0,1} = 0$.

Матрицы переходов от системы координат $i-1$ к системе координат $i, (i = 1...3)$ имеют следующий вид:

$$a_{0,1} = \begin{bmatrix} \cos(\psi_1) & 0 & -\sin(\psi_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\psi_1) & 0 & \cos(\psi_1) \end{bmatrix}, a_{1,2} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & \sin(\theta_2) & 0 \\ -\sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \; a_{2,3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varphi_3) & \sin(\varphi_3) \\ 0 & -\sin(\varphi_3) & \cos(\varphi_3) \end{bmatrix};$$

Абсолютная угловая скорость первого (несущего) тела равна:

$$\overline{\Omega}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\psi}_1 \\ 0 \end{bmatrix}, \tag{1}$$

Абсолютная угловая скорость второго тела, в системе координат, связанной со вторым телом, равна:

$$\overline{\Omega}_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} + a_{(1,2)} \overline{\Omega}_1 \tag{2}$$

Абсолютная угловая скорость тангажной рамки, в системе координат, связанной с тангажной рамкой равна:

$$\overline{\Omega}_3 = \begin{bmatrix} \dot{\varphi}_3 \\ \dot{\psi}_1 \\ 0 \end{bmatrix} + a_{(2,3)} \overline{\Omega}_2 \tag{3}$$

или

$$\overline{\Omega}_3 = \begin{bmatrix} \dot{\varphi}_3 + \sin(\theta_2)\dot{\psi}_1 \\ \cos(\varphi_3)\cos(\theta_2) \qquad \dot{\psi}_1 + \sin(\varphi_3)\dot{\theta}_2 \\ -\sin(\varphi_3)\cos(\theta_2)\dot{\psi}_1 + \cos(\varphi_3)\dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \tag{4}$$

Скорость начала координат курсовой рамки СПМ равна:

$$\overline{V_{o1}} = 0. \tag{5}$$

Скорость начала координат тангажной рамки СПМ в собственной системе координат равна:

$$\overline{V_{o2}} = a_{(1,2)}(\overline{V_{o1}} + R_{1,2}\overline{\Omega}_1). \tag{6}$$

Скорость начала координат креновой рамки СПМ в собственной системе координат равна:

$$\overline{V_{o3}} = a_{(2,3)}(\overline{V_{o2}} + R_{2,3}\overline{\Omega_2}). \quad (8)$$

Скорость центра масс несущего тела, в системе координат, связанной с несущим телом:

$$\overline{V}_{c1} = \overline{V}_{o1} + R_{c1}\overline{\Omega}_1.$$

Скорость центра масс креновой рамки, в системе координат, связанной с креновой рамкой:

$$\overline{V}_{c2} = \overline{V}_{o2} + R_{c2}\overline{\Omega}_2. \quad (9)$$

Скорость центра масс тангажной рамки, в системе координат, связанной с тангажной рамкой:

$$\overline{V}_{c3} = \overline{V}_{o3} + R_{c3}\overline{\Omega}_3. \quad (10)$$

Кинетическая энергия системы:

$T = \sum_1^3 T_j$, где

$$T_j = \frac{1}{2} m_j(\overline{V}_{cj} \cdot \overline{V}_{cj}) + \frac{1}{2}(\overline{\Omega}_j \cdot J_{cj} \cdot \overline{\Omega}_j),\ j = \overline{1,3} \quad (11)$$

$q = [\psi_1, \theta_2, \varphi_3]$.

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} = M_j + T_{fj} - \frac{\partial G}{\partial q_j},\ j = \overline{1,3} \quad (12)$$

Подставив соотношения (1)-(11) в уравнения (12), получим следующую систему уравнений [4]:

$$A(q)\ddot{q} + C(q)\dot{q}_s = M + G + F,$$

где M – вектор моментов исполнительных устройств, G – вектор моментов гравитационных сил, F – вектор возмущающих моментов; $\dot{q}_s = \left[\dot{\psi}_1^2, \dot{\psi}_1\dot{\theta}_2, \dot{\psi}_1\dot{\varphi}_3, \dot{\theta}_2^2, \dot{\theta}_2\dot{\varphi}_3, \dot{\varphi}_3^2\right]^T$.

Так как матрицы $A(q)$ и $C(q,\dot{q})$ получились громоздкими, стоит задача упрощения данных матриц. Будем предполагать, что проекция расстояний центров масс не превышают 10^{-3} м, поэтому квадраты центров масс представляют собой достаточно малую величину, которой можно пренебречь. Полагаем, что оси стенда смещены друг от друга на расстояние, не превышающее 10^{-3} м, следовательно, произведением проекций векторов и $\overline{r}_{ci}$, $i = 1,2,3$, также можно пренебречь.

Таким образом:

$$A(q)^{1,1} = \left[J_{yy1} + J_{yy2} + J_{yy3}\cos(\varphi_3)^2 + J_{zz3}\sin(\varphi_3)^2 - J_{yz3}\sin(2\varphi_3)\right]\cos(\theta_2)^2$$
$$+\left[-J_{xy2} - J_{xy3}\cos(\varphi_3) + J_{xz3}\sin(\varphi_3)\right]\sin(2\theta_2) + \left[J_{xx2} + J_{xx3}\right]\sin(\theta_2)^2$$

$$A(q)^{1,2} = \left[J_{yz2} - J_{yz3}\cos(2\varphi_3) + (J_{yy3} - J_{zz3})\sin(\varphi_3)\cos(\varphi_3)\right]\cos(\theta_2)$$
$$+\left[-J_{xz2} - J_{xz3}\cos(\varphi_3) - J_{xy3}\sin(\varphi_3)\right]\sin(\theta_2)$$

$$A(q)^{1,3} = -J_{xy3}\cos(\theta_2)\cos(\varphi_3) + J_{xz3}\cos(\theta_2)\sin(\varphi_3) + J_{xx3}\sin(\theta_2)$$
$$+\left[-J_{xz2} - J_{xz3}\cos(\varphi_3) - J_{xy3}\sin(\varphi_3)\right]\sin(\theta_2)$$

$$A(q)^{2,1} = \left[-J_{yz2} - J_{yz3}\cos(2\varphi_3) + (J_{yy3} - J_{zz3})\sin(\varphi_3)\cos(\varphi_3)\right]\cos(\theta_2)$$
$$+\left[-J_{xz2} - J_{xz3}\cos(\varphi_3) - J_{xy3}\sin(\varphi_3)\right]\sin(\theta_2)$$

$$A(q)^{2,2} = J_{zz2} + J_{zz3}\cos(\varphi_3)^2 - J_{yz3}\sin(2\varphi_3) + J_{yy3}\sin(\varphi_3)^2\overline{r}_{j-1,j}$$

$$A(q)^{2,3} = -J_{xz3}\sin(\varphi_3) - J_{xy3}\cos(\varphi_3).$$

$$A(q)^{3,1} = -J_{xy3}\cos(\theta_2)\cos(\varphi_3) + J_{xz3}\cos(\theta_2)\sin(\varphi_3) + J_{xx3}\sin(\theta_2).$$

$$A(q)^{3,2} = -J_{xy3}\sin(\varphi_3) - J_{xz3}\cos(\varphi_3).$$

$$A(q)^{3,23} = J_{xx3}.$$

$$C(q)^{1,1} = 0;$$

$$C(q)^{1,2} = -\left[J_{xy2} + J_{xy3}\cos(\varphi_3) - J_{xz3}\sin(\varphi_3)\right]\cos(2\theta_2) +$$

$$\left[J_{xx2} + J_{xx3} - J_{yy2} - J_{yz3}\sin(2\varphi_3) - J_{zz3}\sin(\varphi_3)^2 - J_{yy3}\cos(\varphi_3)^2\right]\sin(2\theta_2).$$

$$C(q)^{1,3} = \left[2J_{yz3}\cos(2\varphi_3) + (J_{zz3} - J_{yy3})\sin(2\varphi_3)\right]\cos(2\theta_2)^2 + (J_{xz3}\cos(\varphi_3) + J_{xy3}\sin(\varphi_3))\sin(2\theta_2)$$

$$C(q)^{1,4} = -\left[J_{xz2} + J_{xz3}\cos(\varphi_3) + J_{xy3}\sin(\varphi_3)\right]\cos(2\theta_2) + J_{yz2} + J_{yz3}\cos(2\varphi_3) + (J_{zz3} - J_{yy3}\sin(\varphi_3)\cos(\varphi_3)\sin(\theta_2)$$

$$C(q)^{1,5} = \left[J_{xx3} + (J_{yy3} - J_{zz3})\cos(2\varphi_3) + 2J_{yz3}\sin(2\varphi_3)\right]\cos(\theta_2).$$

$$C(q)^{1,6} = \left[J_{xz3}\cos(\varphi_3) + J_{xy3}\sin(\varphi_3)\right]\cos(\theta_2).$$

$$C(q)^{2,1} = \left[J_{xy2} + J_{xy3}\cos(\varphi_3) - J_{xz3}\sin(\varphi_3)\right]\cos(2\theta_2) -$$

$$-0.5\left[J_{xx2} + J_{xx3} - J_{yy2} - J_{yz3}\sin(2\varphi_3)) - J_{zz3}\sin(\varphi_3)^2 - J_{yy3}\cos(\varphi_3)^2\right]\sin(2\theta_2);$$

$$C(q)^{2,2} = 0.$$

$$C(q)^{2,3} = \left[-J_{xx3} + (J_{yy3} - J_{zz3})\cos(2\varphi_3) + 2J_{yz3}\sin(2\varphi_3)\right]\cos(\theta_2) +$$

$$+2\left[J_{xz3}\sin(\varphi_3) - J_{xy3}\cos(\varphi_3)\right]\sin(\theta_2)$$

$$C(q)^{2,4} = 0.$$

$$C(q)^{2,5} = -2J_{yz3}\cos(2\varphi_3) + (J_{yy3} - J_{zz3})\sin(2\varphi_3).$$

$$C(q)^{2,6} = J_{xz3}\sin(\varphi_3) - J_{xy3}\cos(\varphi_3).$$

$$C(q)^{3,1} = -\left[J_{yz3}\cos(2\varphi_3) + 0.5(J_{zz3} - J_{yy3})\sin(2\varphi_3) + 2J_{yz3}\sin(2\varphi_3)\right]\cos(\theta_2)^2 -$$

$$0.5(J_{xz3}\cos(\varphi_3) + J_{xy3}\sin(\varphi_3))\sin(2\theta_2)$$

$$C(q)^{3,2} = \left[J_{xx3} + (J_{zz3} - J_{yy3})\cos(2\varphi_3) - 2J_{yz3}\sin(2\varphi_3)\right]\cos(\theta_2) + 2 -$$

$$\left[J_{xz3}\sin(\varphi_3) + J_{xy3}\cos(\varphi_3)\right]\sin(\theta_2)$$

$$C(q)^{3,3} = 0.$$

$$C(q)^{3,4} = J_{yz3}\cos(2\varphi_3) + 0.5(J_{zz3} - J_{yy3})\sin(2\varphi_3).$$

$$C(q)^{3,5} = 0.$$

$$C(q)^{3,6} = 0.$$

В случае, если в качестве потенциальных сил действуют только силы тяжести, то $G = [0,0]^T$.

В качестве исполнительных устройств СПМ используем трехфазные вентильные двигатели с постоянными магнитами на роторе. Для моделирования исполнительных устройств используются следующие уравнения [5]:

$$L\frac{di_\alpha}{dt} = u_\alpha - Ri_\alpha + \Psi_{\text{п.м}}\frac{d\vartheta}{dt}\sin(p_{\text{п}}\vartheta),$$

$$L\frac{di_\beta}{dt} = u_\beta - Ri_\beta - \Psi_{\text{п.м}}\frac{d\vartheta}{dt}\cos(p_{\text{п}}\vartheta),$$

$$M_{\text{дв1}} = \frac{3 p_{\text{п}} \Psi_{\text{п.м}}}{2}\left(-i_{\alpha}\sin(p_{\text{п}}\vartheta) + i_{\beta}\cos(p_{\text{п}}\vartheta)\right),$$

где u_{α}, u_{β} – напряжения статора фаз α и β, i_{α}, i_{β} – токи фаз α и β, $\Psi_{\text{п.м}}$ – составляющая потокосцепления статора от постоянного магнита на роторе, R и L – сопротивление и индуктивность обмотки фазы статора, $p_{\text{п}}$ – число пар полюсов ротора, $M_{\text{дв1}}$ – момент двигателя.

Полученные в работе уравнения использованы для моделирования движения СПМ в программной системе Matlab/Simulink. Приведены примеры моделирования. Разработанная модель может применяться при проверке конструктивных решений и проектировании законов управления СПМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Masten M.K.* Inertially stabilized platforms for optical imaging systems: tracking dynamic targets with mobile sensors // IEEE Control Syst, 2008, vol. 28(1), p. 47–64.

2. *Бабаев А.А*. Амортизация, демпфирование и стабилизация бортовых оптических приборов. Л.:Машиностроение. Ленингр. отделение, 1984. – 232 с.

3. *Беляков Ю. М., Карпов А. И., Кренев В. А., Молин Д. А*. Методика разработки математических моделей автоматических бортовых оптико-электронных систем. Оптический журнал.2009.Т.76.№3.С.34-39.

4.*Бородин В.М., Спиридонов И.О., Файзутдинов Р.Н*. Анализ динамики системы пассивной стабилизации линии визирования с четырехосным карданновым подвесом// Изв. вузов. Авиационная техника, 2016, № 4. С 38-35.

5. *Анучин А.С*. Системы управления электроприводов. М.: МЭИ, 2015. – 373с.

HIL SIMULATION STAND FOR OPTICAL-ELECTRONIC DEVICE STABILIZATION SYSTEM

I.O. Spiridonov, I.D. Kudryavtsev

igor.georg.2@gmail.com

Supervisor: G.L. Degtyarev, Doctor of technical sciences., professor

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

On the basis of the Euler–Lagrange equations, a mathematical model of the hardware-in-the-loop (HIL) stand for optoelectronic device stabilization system has been presented. The developed model is implemented in Matlab / Simulink programming system. Examples of simulation are given. The developed model can be used in the verification of design solutions and design of control laws for the HIL stand.

УДК 378.162.33

УЧЕБНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГИРОПОЛУКОМПАСА

Стрелков А.Ю., Магнич В.И.

a.strelkov87@gmail.com

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

Рассматриваются вопросы построения учебного стенда на базе программируемой логической интегральной схемы на примере учебного стенда для изучения горизонтальной и азимутальной коррекций гирополукомпаса.

Эффективность занятий с использованием наглядного материала всегда повышается, но демонстрация функционирующих приборов сопряжена с большими финансовыми затратами

и часто требует специальных источников электроэнергии. С этой точки зрения выгодно выделяется использование интерактивных стендов, примеры которых приведены в [1,2,3]. Подобные стенды могут также использоваться для контроля знаний. Стенды могут быть построены различными способами, но в настоящее время удобно изготавливать их на базе какого-либо вычислителя, например, программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС), как это предложено в [4].

В рамках выпускной квалификационной работы Магнича В.И. был разработан и изготовлен учебный стенд для изучения работы гирополукомпаса (ГПК). Данный стенд предназначен для изучения горизонтальной и азимутальной (моментной и кинематической) коррекций. Лицевая панель стенда представлена на рисунке 1. Стенд предназначен для решения четырех задач.

Задача 1. Исследование работы горизонтальной коррекции ГПК при отклонении вектора кинетического момента от горизонтальной плоскости.

Исследуется система горизонтальной коррекции при отклонении вектора кинетического момента от горизонтальной плоскости на угол $\pm\beta$.

Входные данные задачи:

1. Направление вектора кинетического момента: *H*1/*H*2.
2. Направление угла отклонения вектора кинетического момента: $+\beta/-\beta$.

Задание:

1. Определить, какой коррекционный мотор будет выполнять коррекцию: КМ1/КМ2.
2. Определить направление момента коррекции: *M*1/*M*2/*M*3/*M*4.
3. Определить направление угловой скорости прецессии в процессе проведения горизонтальной коррекции: $\omega1/\omega2/\omega3/\omega4$.
4. Определить соотношение переходных сопротивлений контактов МЧЭ: $r_1 > r_2 / r_1 < r_2 / r_1 = r_2$.
5. Определить соотношение токов через контакты МЧЭ: $I_1 > I_2 / I_1 < I_2 / I_1 = I_2$.

Задача 2. Исследование работы горизонтальной коррекции ГПК при действии горизонтальной угловой скорости

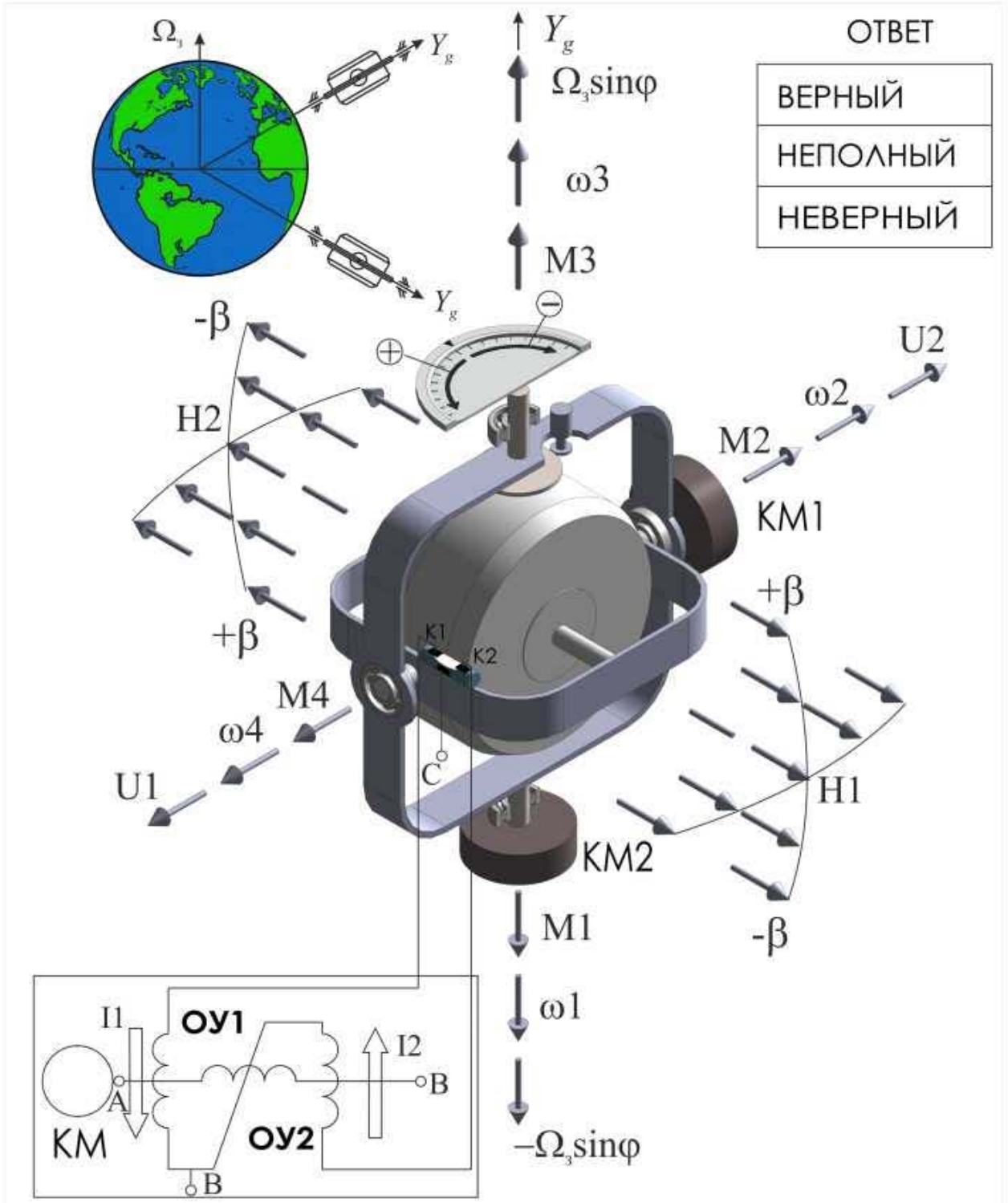
Исследуется система горизонтальной коррекции при действии горизонтальной угловой скорости

Входные данные задачи:

1. Направление вектора кинетического момента: *H*1/*H*2.
2. Направление горизонтальной угловой скорости: $U1/U2$.

Задание:

1. Определить, какой коррекционный мотор будет выполнять коррекцию: КМ1/КМ2.
2. Определить направление момента коррекции: *M*1/*M*2/*M*3/*M*4.
3. Определить направление угловой скорости прецессии в процессе проведения горизонтальной коррекции: $\omega1/\omega2/\omega3/\omega4$.
4. Определить соотношение переходных сопротивлений контактов МЧЭ: $r_1 > r_2 / r_1 < r_2 / r_1 = r_2$.
5. Определить соотношение токов через контакты МЧЭ: $I_1 > I_2 / I_1 < I_2 / I_1 = I_2$.



Задача 1	●	○	Пуск	●	H1	●	U1	●			M1	●	ω1	●	r1>r2	●	○	I1>I2	●	○	Ωзsinφ	●
Задача 2	●	○	Сброс	●	H2	●	U2	●	KM1	●	M2	●	ω2	●	r1<r2	●	○	I1<I2	●	○	-Ωзsinφ	●
Задача 3	●	○			+β	●	C	●	KM2	●	M3	●	ω3	●	r1=r2	●	○	I1=I2	●	○	+	●
Задача 4	●	○			-β	●	Ю	●			M4	●	ω4	●							—	●

Рисунок 1. Лицевая панель стенда для изучения ГПК

Задача 3. Исследование работы азимутальной моментной коррекции ГПК

Исследуется система азимутальной моментной коррекции при расположении ГПК в северном или южном полушарии. Ось подвеса наружной рамки ГПК направлена по вертикали.

Входные данные задачи:

1. Место расположения ГПК: С – северное полушарие, Ю – южное полушарие.
2. Направление вектора кинетического момента: *H*1/*H*2.

Задание:

1. Определить направление вертикальной составляющей угловой скорости вращения Земли: $\Omega_з \sin\varphi / -\Omega_з \sin\varphi$.
2. Определить, какой коррекционный мотор будет выполнять коррекцию: КМ1/КМ2.
3. Определить направление момента коррекции: *M*1/*M*2/*M*3/*M*4.
4. Определить направление угловой скорости прецессии в процессе проведения азимутальной коррекции: $\omega1 / \omega2 / \omega3 / \omega4$.
5. Определить соотношение переходных сопротивлений контактов МЧЭ: $r_1 > r_2 / r_1 < r_2 / r_1 = r_2$.
6. Определить соотношение токов через контакты МЧЭ: $I_1 > I_2 / I_1 < I_2 / I_1 = I_2$.

Задача 4. Исследование работы азимутальной кинематической коррекции ГПК

Исследуется система азимутальной кинематической коррекции при расположении ГПК в северном или южном полушарии. Ось подвеса наружной рамки ГПК направлена по вертикали.

Входные данные задачи:

1. Место расположения ГПК: С – северное полушарие, Ю – южное полушарие.
2. Направление вектора кинетического момента: *H*1/*H*2.

Задание:

1. Определить направление вертикальной составляющей угловой скорости вращения Земли: $\Omega_з \sin\varphi / -\Omega_з \sin\varphi$.
2. Определить направление вращения шкалы ГПК: + / -.
3. Определить соотношение переходных сопротивлений контактов МЧЭ: $r_1 > r_2 / r_1 < r_2 / r_1 = r_2$.
4. Определить соотношение токов через контакты МЧЭ: $I_1 > I_2 / I_1 < I_2 / I_1 = I_2$.

Работа с учебным стендом осуществляется следующим образом. Преподаватель выбирает номер задачи и входные данные задачи путем нажатия соответствующих кнопок, а обучающийся отвечает на задание путем выбора значений соответствующих параметров. После нажатия кнопки «Пуск» индицируется правильность ответа (табло «Ответ: верный/неполный/ неверный») и, в случае верного решения, запускается имитация движения вектора кинетического момента (задачи 1-3) или вращения шкалы (задача 4). Имитация движения осуществляется путем поочередного включения и выключения светодиодов («бегущий огонь»).

Логика стенда основана на алгоритмах, предложенных в [4]. Структурная схема стенда изображена на рисунке 2. Стенд можно условно разделить на: блок ввода, блок индикации, блок индикации правильного ответа и вычислитель (например, ПЛИС), состоящий, в свою очередь, из модулей преобразования, индикации, проверки и модуля решения задач.

Блок ввода служит для задания типа задачи, её исходных данных, а также для ввода значений выбираемых параметров, необходимых для решения задачи. Выбор параметров осуществляется нажатием соответствующей кнопки на лицевой панели стенда. В этом состоит отличие от алгоритмов [4], где выбор осуществляется путем последовательного нажатия одной кнопки, при этом значение параметра (например, номер задачи) циклически меняется. Использования отдельной кнопки для каждого значения параметра с одной стороны

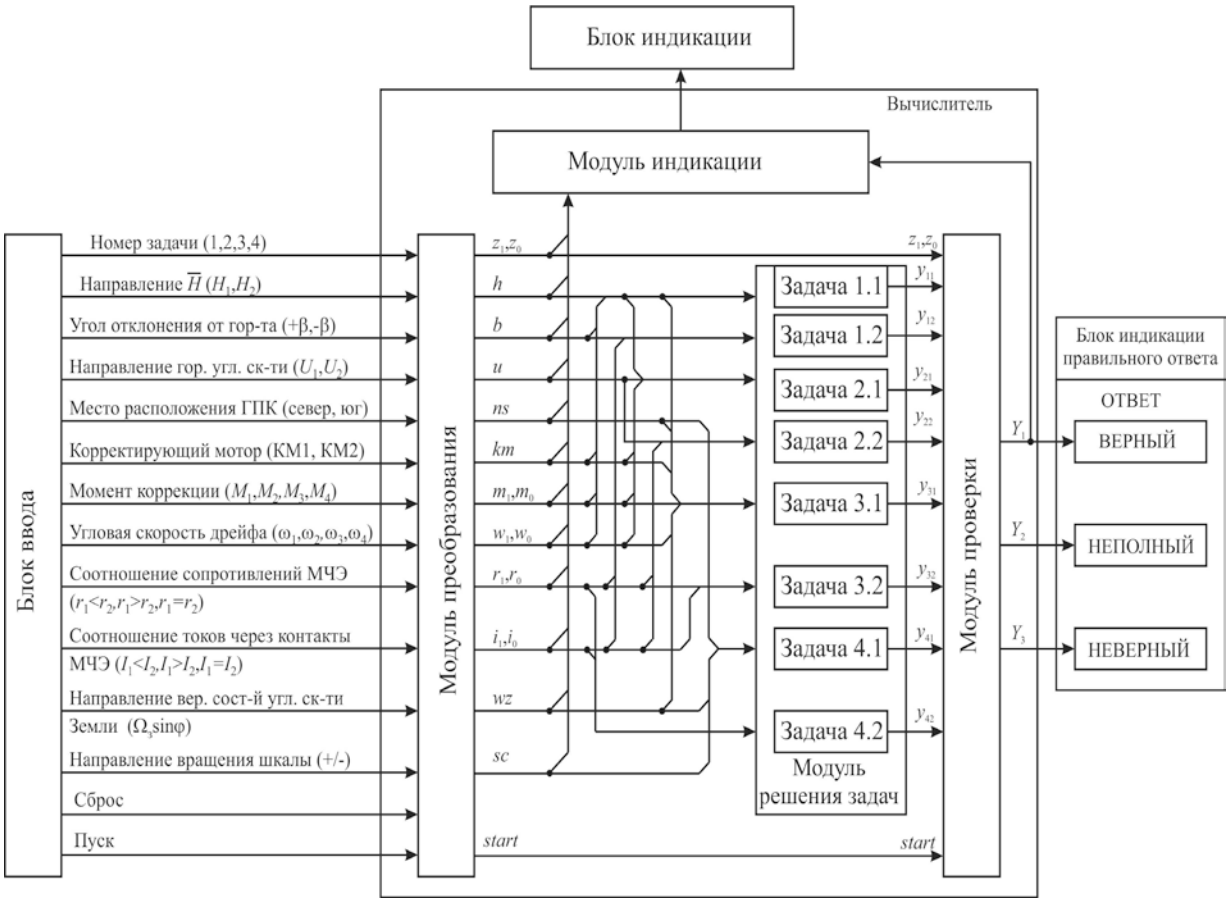


Рисунок 2. Структурная схема стенда

увеличивает количество требуемых контактов на ПЛИС, но, с другой стороны, упрощает (и ускоряет) процедуру выбора. Кроме того, при таком построении нет необходимости учитывать эффект дребезга контактов, возникающий при нажатии кнопки.

Сигналы от нажатия кнопок поступают на *модуль преобразования* вычислителя, где формируется кодовое значение параметра. При нажатии кнопки «Сброс» всем кодовым параметрам присваиваются начальные (нулевые) значения. В модуле преобразования предусмотрена блокировка по нажатию кнопки «Пуск», после нажатия которой изменить выбранные параметры нельзя. Для повторного выбора необходимо нажать кнопку «Сброс».

Модуль решения задач предназначен для определения правильности решения каждой из задач, а *модуль проверки* выдает сигналы правильности ответа (верный/неверный/неполный). Логика работы этих модулей построена на логических выражениях, записанных в совершенной дизъюнктивной нормальной форме.

Задачей *модуля индикации* является формирование сигнала для подсвечивания выбранных параметров в *блоке индикации* и реализация имитации движения. Логика работы модуля довольно сложная и построена таким образом, чтобы выполнялись следующие условия:

1. При выборе определенной задачи параметры, неиспользуемые в данной задаче, не подсвечиваются.

2. Подсвет некоторых параметров зависит от других выбранных параметров. Например, при выборе направления вектора кинетического момента (*H*1/*H*2) во 2, 3, 4 задачах загорается подсвет центральной стрелки (*H*1 или *H*2), но при решении первой задачи должна подсветиться стрелка, соответствующая отклоненному положению вектора $\overline{H}$, которая зависит также от направления отклонения вектора кинетического момента $(+\beta/-\beta)$.

3. Для некоторых параметров одни и те же светодиоды используются и в режиме выбора параметров, и в режиме имитации движения. Поэтому логика работы модуля индикации

должна обеспечивать переключение режима горения светодиодов при появлении сигнала «Ответ верный».

Для уменьшения аппаратных средств ПЛИС «бегущий огонь» реализуется один раз, и в зависимости от решаемой задачи и вводимых параметров сформированный «бегущий огонь» подключается к соответствующим светодиодам.

Бегущий огонь формируется с помощью левого или правого циклического сдвига с заданной частотой, которая формируется путем деления тактовой частоты кварцевого генератора. Деление частоты осуществляется путем подключения сигнала тактовой частоты $\nu_т$ на сумматор. Младший разряд числа, получаемого на выходе сумматора, меняет значение с частотой $\nu_0 = \nu_т / 2^1$, следующий – с частотой $\nu_1 = \nu_т / 2^2$ и т.д. Таким образом, сигнал снимаемый с n-го разряда имеет частоту

$$\nu_n = \frac{\nu_т}{2^{n+1}}.$$

Если тактовая частота кварцевого генератора равна $\nu_т = 24\,\text{МГц}$, то на 24 разряде сумматора имеем сигнал с частотой $\nu_{24} = 24 \cdot 10^6 / 2^{25} \approx 0.7\,\text{Гц}$, что вполне удовлетворяет, как частота переключения светодиодов в «бегущем огне».

На момент написания данной работы стенд изготовлен. Стенд будет использоваться в учебном процессе при обучении студентов направления 27.03.04 «Управление в технических системах» (профиль подготовки «Управление подвижными объектами»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кривошеев С.В., Кушко В.И.* Патент №1125221 «Тренажер для изучения свойств гироскопа».

2. *Кривошеев С.В., Викторов С.И., Дергачева Т.А.* Патент №1241277 «Тренажер операторов гироскопических приборов».

3. Патент РФ на изобретение №2658554, МПК G09B 9/04. Тренажер для изучения авиагоризонта/ *С.В. Кривошеев, А.И. Галиева, А.Ю. Стрелков*.– Заявл. 27.06.2017.– Опубл. 21.06.2018.– Бюл.№18.

4. *Стрелков А.Ю.* Построение учебных стендов на базе программируемых логических интегральных схем/ *А.Ю. Стрелков, С.В. Кривошеев*// Материалы I Международной научно-технической конференции «Проблемы получения, обработки и передачи измерительной информации».– Уфа: УГАТУ, 2017.– С. 188-192.

EDUCATIONAL BENCH FOR THE STUDY OF A DIRECTION GYROSCOPE

Strelkov A.Y., Magnich V.I.

a.strelkov87@gmail.com

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

Abstract: the issue of projecting of educational bench based on CPLD/FPGA is considered on the example of a educational bench for the study of horizontal and azimuthal corrections of a

The issues of building a training stand based on a programmable logic integrated circuit are considered on the example of a training stand for studying horizontal and azimuthal corrections of a direction gyroscope.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СЛЕДОВАНИЯ ПО ПУТИ С ПРОГНОЗИРУЮЩИМИ МОДЕЛЯМИ

Ступницкий П.П., Валиева С.П.
pstupnitski@gmail.com, valieva.svetlana@gmail.com
Научный руководитель: А.А. Маханько, к.т.н, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Аннотация: В данной работе исследована задача следования по пути при обеспечении автоматического управления беспилотным летательным аппаратом. Для решения данной задачи был использован алгоритм управления с прогнозирующими моделями, который позволяет предсказывать будущее поведение рассматриваемой системы для расчета оптимального управляющего воздействия

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) имеют большую популярность в наши дни и могут быть использованы в разведке, картографии, в научных и исследовательских целях без опаски за жизнь пилотов. Развитие методов управления позволяет решить задачу движения транспорта в автоматическом.

В данной работе описывается задача следования по заданному пути беспилотного объекта с использованием схемы управления с прогнозирующими моделями. Управление с прогнозированием имеет важное преимущество предсказывать будущее поведение системы и рассчитывать оптимальное управляющее воздействие. Так же, этот вид управления позволяет рассматривать модель системы с ограничениями на неё.

1. Управление с прогнозирующими моделями

Этот метод был открыт в 1970х и получил широкое применение во многих промышленных отраслях [1]. Управление с прогнозированием это – метод управления предназначенный для решения задачи оптимального управления, где модель системы используется для предсказания будущего поведения системы и расчета оптимальных входных воздействий [2]. Целью данного метода является уменьшение значения ошибки состояния системы при рассмотрении ограничений на ее входное воздействие и состояние [1, 3]. Типичная задача для этого управления состоит в минимизации разности значения состояния системы и желаемого значения или последовательности желаемых значений.

1.1.Линейное управление с прогнозирующими моделями

Управление с прогнозирование основано на повторяющемся решении задачи оптимального управления при условии соблюдения ограничений на систему и ее динамики. Идея этого управления заключается в использовании модели системы чтобы предсказать и оптимизировать поведение системы. Общее представление управления с прогнозирующими моделями представлено на Рисунке 1.1, где система представлена в дискретном виде. Целевая функция, которая должна быть минимизирована, зависит от прогнозируемых состояний системы на основе измерений на каждом дискретном промежутке.

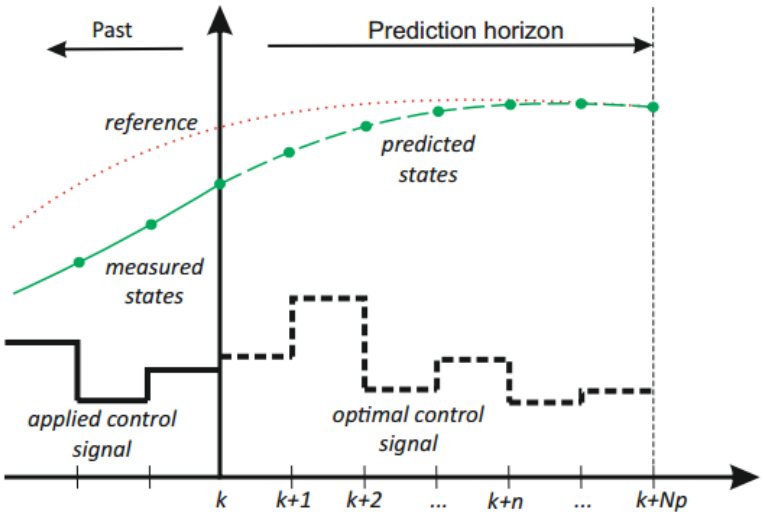


Рисунок 1.1: Управление следования по пути с прогнозированием

Контроллер определяет оптимальную последовательность управляющих сигналов так, что будущие состояния системы по всему горизонту прогноза *Np* следует их соответствующему желаемому значению. Прогнозирование и оптимизация повторяются на каждом промежутке *k + n, n = 0, 1 ... N*, где *N* - горизонт моделирования.

Целевая функция, зависящая от состояния системы, входа и горизонта прогноза *Np*, определяется формулой

$$J\left(\chi\left(k\right),u\left(\cdot\right)\right)=\sum_{i=0}^{N_p}F\left(\chi\left(k+i\right),u\left(k+i\right)\right)+E\left(\chi\left(k+N_p\right)\right). \tag{1.1}$$

Состояние системы задается как линейная дискретная динамика

$$\chi\left(k+1\right)=A\chi\left(k\right)+Bu\left(k\right), \tag{1.2}$$

где, *χ(k)* и *u(k)* – измеренное состояние и оптимальный управляющий вход в дискретное время *k*.

Целевую функцию, которая должна быть минимизирована, можно определить следующим образом:

$$\begin{aligned}\underset{\chi_k,u_k}{\text{minimize}}\quad & \frac{1}{2}\sum_{k=0}^{N_p-1}\left(\chi_k^TQ\chi_k+u_k^TRu_k\right)+\frac{1}{2}\chi_N^TQ\chi_N\\ \text{subject to}\quad & \chi_{k+1}=A\chi_k+Bu_k,\left(\chi\left(0\right)=\chi_0\right),\\ & u^{\min}\le u_k\le u^{\max},\\ & \chi^{\min}\le\chi_k\le\chi^{\max},\end{aligned} \tag{1.3}$$

где, *Q* и *R* - весовые матрицы, χ_k и u_k – состояния системы и сигналы на вход,

Этот тип проблемы оптимизации называется квадратичным программированием (QP). Стандартная форма квадратичной программы определяется как [4]

$$\begin{aligned}\underset{\chi_k,u_k}{\text{minimize}}\quad & \frac{1}{2}\rho^TQ\rho+f^T\rho\\ \text{subject to}\quad & A\rho=b,\\ & A\rho\le b,\\ & lb\le\rho\le ub,\end{aligned} \tag{1.4}$$

где, *H* - симметричная матрица n × n, представляющая квадратичный член, *f* - вектор с n элементами, который обозначает линейный член, *ρ* - вектор с переменными состояния и управляющими входными переменными внутри, *A* и *b* - матрица с линейными

коэффициентами и вектором с линейными коэффициентами соответственно, *lb* и *ub* - нижняя и верхняя границы вектора ρ.

Матрица H должна быть положительной полуопределенной, чтобы быть выпуклой задачей. В этой работе линейная система квадратичного программирования рассматривается как часть ограничений равенства с граничными условиями.

2. Следование по пути

Типичной задачей управления является движение объекта (БЛА) по некоторой заданной траектории. Одним из подходов решения этой задачи является *Следование по пути*, где путь выражается в виде геометрической кривой, не зависящей от времени. Так же, для данной стратегии используется дополнительный путевой параметр θ(k) [5, 6]. В тоже время, путь может быть представлен из точек, принадлежащих этой геометрической кривой, и может быть выражена как:

$$\mathrm{P} = \left\{ \underline{p}(\theta) \in \mathbb{R}^n \mid \theta \in \left[\hat{\theta}; 0 \right] \to \underline{p}(\theta) \right\}, \tag{2.1}$$

где, $p(\theta)$ является представлением желаемого пути, θ является ограниченным параметром пути.

Параметр пути $\theta(k)$ представлен как степень свободы, поскольку он определяется во время процесса управления. Общее решение задачи управления по оптимальному пути можно определить, как сходимость управляемых переменных $\chi(k)$ на заданном пути $p(\theta(k))$.

$$\lim_{k\to\infty} e_{pf}(k) = \lim_{k\to\infty} \left(\chi(k) - r\left(\theta(k)\right) \right) = 0, \tag{2.2}$$

где, при использовании этого подхода для БЛА, это соответствует сближению положения беспилотного аппарата с траекторией полета $p(\theta(k))$. В этом случае $\theta(k)$ интерпретируется как абстрагированная скорость полета.

Параметр пути $\theta(k)$ для задачи следование по пути, не определяется непосредственно по фиксированной временной зависимости, но основан на дифференциальном уравнении вида:

$$\theta(k+1) = g\left(\theta(k)\upsilon(k)\right), k \in \mathbb{R}, \tag{2.3}$$

где, g – определяет динамику параметра пути в зависимости от предыдущего параметра и виртуального входа $v(k)$. Динамика g описывает поведение θ [6, 8].

Параметр пути и управляющая переменная v включены в динамику модели системы. Таким образом, определение расширенной целевой функции возможно из уравнения

$$J\left(\chi(k), \underline{u}(\cdot), \theta(k), \upsilon(\cdot)\right) = \sum_{i=0}^{N_p} F\left(\tilde{\chi}(k+i), \underline{\tilde{u}}(k+i), \tilde{\theta}(k+i), \tilde{\upsilon}(k+i)\right) + E\left(\tilde{\chi}\left(k+N_p\right), \tilde{\theta}(k+i)\right), \tag{2.4}$$

где, $F(\cdot)$ – задача Лагранжа, а $E(\cdot)$ – задача Майера.

В этой задаче управления задача Лагранжа $F(\cdot)$ имеет большее значение для следования по пути для объекта (БЛА), и он формулируется как квадратичная целевая функция, удовлетворяющая приведенным выше условиям:

$$F(\cdot) = \left\| \begin{matrix} \chi(k+i) - r\left(\theta(k+i)\right) \\ \theta(k+i) \end{matrix} \right\|_Q^2 + \left\| u(k+i) \right\|_R^2, \tag{2.5}$$

где, $\chi(k)$ и $r(\theta(k))$ являются состоянием системы и желаемым путем, а их разность дает член ошибки, $u(k)$ – контрольный член, $v(k)$ – дополнительный виртуальный контрольный член, определяющий динамику параметра пути, Q и R - симметричные весовые матрицы.

3. Подход к применению управления с прогнозированием к задаче следования по пути

Для задачи следования по пути применяется дополнительный путевой параметр, динамика которого может быть описана как

$$\theta(k+1) = \theta(k) + Ts \cdot \upsilon(k), \tag{3.1}$$

где θ (k) является еще одним состоянием, которое определяется линейной дискретной динамикой.

Таким образом, в динамику объекта (БЛА) добавляется динамика этого путевого параметра.

На основе описанного метода, можно сформулировать задачу оптимального управления, где целевая функция может быть представлена в квадратичном виде. При представлении дополнительного состояния θ, квадратичная целевая функция будет зависеть от хода переменных состояния. Математическое представление этой функции имеет вид:

$$\min_{\underline{u},\underline{\upsilon}} \sum_{i=0}^{N_p} \left\| \begin{matrix} \underline{e}_{pf} \\ \theta \end{matrix} \right\|_Q^2 + \left\| (\underline{u}) \right\|_R^2, \tag{3.2}$$

которая зависит от

$$\begin{aligned} \underline{e}_{pf}(k) &= C1\underline{\chi}(k) - p(\theta(k)), \\ \underline{\chi}(k+1) &= A\underline{\chi}(k) + B\underline{u}(k), \\ \theta(k+1) &= \theta(k) + Ts \cdot \upsilon(k). \end{aligned} \tag{3.3}$$

где представлены целевая функция, уравнение ошибки $e_{pf}(k)$, уравнение динамики системы, уравнение динамики путевого параметра.

Желаемая траектория имеет нелинейное описание. Для использования подхода следования по пути, необходимо аппроксимация пути. Если представить желаемую траекторию в трехмерном пространстве, то она будет иметь следующее математическое выражение:

$$\underline{\hat{p}}(\theta) = \begin{pmatrix} \hat{p}_x(\theta) \\ \hat{p}_y(\theta) \\ \hat{p}_z(\theta) \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} m_x\theta + n_x \\ m_y\theta + n_y \\ m_z\theta + n_z \end{pmatrix}, \theta \in [-1;0], \tag{3.4}$$

где, $m_{x,y,z}$ и $n_{x,y,z}$ – параметры, описывающие линейный путь, по которому мы хотим следовать в каждом пространственном направлении, $p_{x,y,z}$ – желаемый путь в трех измерениях.

Это означает, что объект (БЛА) должен следовать последовательности прямых линий, представляющих путь и определяемых на каждом временном интервале. Каждая линия представляет собой геометрический путь, за которым должен следовать БЛА.

Исходя из вышесказанного, целевая функция задачи управления следования по пути с прогнозированием может быть определена следующим образом

$$\frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N_p-1} \left(\left(C1\chi_k - \hat{p}(\theta(k)) \right)^T Q \left(C1\chi_k - \hat{p}(\theta(k)) \right) + u_k^T R u_k \right) \tag{3.5}$$

где, управляющий вход u_k определяется в каждый период выборки для оптимизации состояние системы χ_k для достижения заданного геометрического пути $p(\theta(k))$. С этого момента, выход системы представляет собой вектор, определяемый следующим образом:

$$\begin{pmatrix} e_x \\ e_y \\ e_z \\ \theta \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \underline{1}^T & \underline{0}^T & \underline{0}^T & -m_x \\ \underline{0}^T & \underline{1}^T & \underline{0}^T & -m_y \\ \underline{0}^T & \underline{0}^T & \underline{1}^T & -m_z \\ \underline{0}^T & \underline{0}^T & \underline{0}^T & 1 \end{bmatrix}}_{C} \cdot \begin{pmatrix} \underline{x} \\ \underline{y} \\ \underline{z} \\ \theta \end{pmatrix} - \underbrace{\begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \\ 0 \end{bmatrix}}_{D} \tag{3.6}$$

где, коэффициент ошибки $e_{x,y,z}$ вычисляется матрицами C и D, которые представляют заданный путь через параметры *m* и *n* (см. уравнение (3.4)).

Для реализации схемы управления с прогнозированием, нужна стандартная форма для получения оптимального решения. Для этого нужно определить матрицы *H* и *f*. Это может быть сделано, преобразуя формулу целевой функции (3.5) с использованием выражения (3.6):

$$H = \begin{pmatrix} C^T QC & & & & & & \\ & \ddots & & & & & \\ & & C^T QC & & & & \\ & & & R & & & \\ & & & & \ddots & & \\ & & & & & R & \end{pmatrix} \tag{3.7}$$

и

$$f = \begin{pmatrix} D^T QC & \cdots & D^T QC \end{pmatrix} \tag{3.8}$$

где,

Q и R – весовые матрицы,

C и D – матрицы из (3.6).

4. Пример применения к беспилотному вертолету

Пусть динамика вертолета с динамикой путевого параметра внутри будет описана следующим выражением:

$$\begin{pmatrix} \underline{x}(k+1) \\ \underline{y}(k+1) \\ \underline{z}(k+1) \\ \theta(k+1) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} A_x & 0 & 0 & \underline{0} \\ 0 & A_y & 0 & \underline{0} \\ 0 & 0 & A_z & \underline{0} \\ \underline{0}^T & \underline{0}^T & \underline{0}^T & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{x}(k) \\ \underline{y}(k) \\ \underline{z}(k) \\ \theta(k) \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} b_x & 0 & 0 & \underline{0} \\ 0 & b_y & 0 & \underline{0} \\ 0 & 0 & b_z & \underline{0} \\ \underline{0}^T & \underline{0}^T & \underline{0}^T & Ts \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u_x(k) \\ u_y(k) \\ u_z(k) \\ \upsilon(k) \end{pmatrix} \tag{4.1}$$

где, динамика вертолета определена для каждого пространственного направления с включенной динамикой путевого угла. Целевая функция задачи оптимизации для системы вертолета можно представить в виде:

$$F(\cdot) = \left\| \begin{pmatrix} e_x \\ e_y \\ e_z \\ \theta \end{pmatrix} \right\|_Q^2 + \left\| \begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \\ \upsilon \end{pmatrix} \right\|_R^2 \tag{4.2}$$

где, *e* представляет отклонение от заданного пути по трем пространственным направлениям (см. Главу 3).

Заключение

С ростом важности беспилотных летательных аппаратов возникает проблема автономного полета по заданной траектории. В частности, разработка интеллектуальных алгоритмов автономной задачи управления полетом необходима в тех областях, где маневрирование имеет большое значение.

В данной работе была рассмотрена схема управления с прогнозирующими моделями и способ решения задачи сходимости состояния системы к желаемому значению, а именно движение беспилотного аппарата по заданной траектории, которая называется следование по пути. Было показано применение схемы управления с прогнозированием к данной задаче.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:1

1. *F. Allgöwer, R. Findeisen, and Z. K. Nagy*. Nonlinear Model Predictive Control: From Theory To Application. J. Chin. Inst. Chem. Engrs., Vol. 35, No. 3, 299-315, 2004.

2. *J. B. Rawlings and D. Q. Mayne*. Model Predictive Control: Theory and Design. Nob Hill Publishing, Madison, WI, 2015.

3. *E. F. Camacho and C. Bordons*. Model Predictive Control. Springer, London, 2 edition, 2007.

4. *J. Nocedal and S. J. Wright*. Numerical Optimization. Springer, New York, 1999.

5. *T. Faulwasser and R. Findeisen*. Nonlinear Model Predictive Path-Following Control. Lecture Notes in Control and Information Sciences, 335-343. Springer, 2009.

6. *T. Faulwasser, B. Kern, and R. Findeisen*. Model Predictive Path-Following for Constrained Nonlinear Systems. Proc. 48th 4950 Bibliography IEEE Conf. on Decision and Control, CDC/CCC 2009, 8642-8647, 2009.

MODEL PREDICTIVE PATH-FOLLOWING CONTROL SYSTEM

Stupnitskii Pavel, Valieva Svetlana

pstupnitski@gmail.com, valieva.svetlana@gmail.com

Supervisor: Andrei Makhanko, Doctor of Science and Assistany Professor

(supervisor indicated only in the papers of students and PhD-students)

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

Abstract: In this paper, the path following problem while ensuring the automatic control of an unmanned aerial vehicle is investigated. To solve this problem, we used a model predictive control approach, which allows us to predict the future behavior of the considered system for calculating the optimal control.

УДК 621.317

РОБОТ БАЛАНСИР НА УНИФИЦИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЕ АРДУИНО

Фаюршин Р.Р.

frasf10@yandex.ru

Научный руководитель: А.Ю. Кирсанов, к.т.н, доцент

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

В данной работе показаны особенности разработки автоматизированной установки балансирующего робота. Обоснована структура системы вычисления и регулирования угла наклона базы. Представлены основные узлы электрической и принципиальной схемы измерительной и управляющей системы, результаты моделирования их работы в среде Arduino. Установка, предназначенная для автоматизированного соблюдения роботом равновесия при любых внешних воздействиях, также она может быть использована для промышленного применения в станках, для которых требуется максимальная точность наклона обрабатываемой поверхности.

Разработанная установка позволяет в автоматизированном режиме соблюдать равновесие робота на любых неровностях и при любых физических воздействиях. Установка также может быть использована в промышленной сфере, например, в станках с ЧПУ, для которых требуется максимальная точность наклона как обрабатываемой поверхности, так и поверхности на которой закреплен сам станок и т.д.

Акселерометр — прибор, измеряющий проекцию кажущегося ускорения (разности между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением). Как правило, акселерометр представляет собой чувствительную массу, закреплённую в упругом подвесе. Отклонение массы от её первоначального положения при наличии кажущегося ускорения несёт информацию о величине этого ускорения.

Акселерометр позволит получить первоначальные данные о состоянии исследуемого объекта. Далее полученные данные необходимо обработать и вычислить алгоритм, который позволит исследуемому объекту, в данном случае – роботу, оставаться неподвижным при внешних воздействиях.

Для выполнения поставленной задачи вычисляющим звеном будет служить контроллер Arduino Uno собранный на базе ATmega 328. Информация, полученная акселерометром, будет обрабатываться в Arduino Uno, после вычисления всех необходимых переменных, выполняется алгоритм, который возвращает робота в исходное равновесное состояние.

После того, как сформулирован алгоритм, сигнал поступает на модуль драйвера двигателя L298N, который в свою очередь управляет двумя электродвигателями с редукторами. Они будут создавать силу противодействующую внешним воздействия, в следствии чего, робот будет удерживать равновесие.

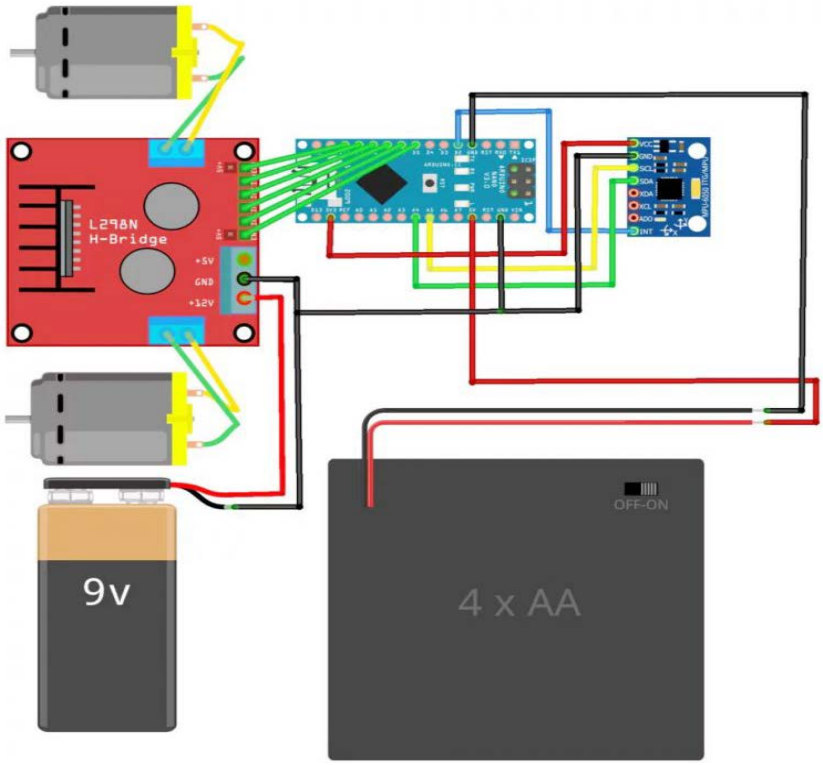


Рис. 1. Принципиальная схема робота балансира:

После того, как все составляющие подключены между собой, необходимо написать программу, реализующую вычислительный процесс. Она будет написана на языке C++, так как стандартная среда программирования Ардуино базируется на нем. После загрузки скетча в контроллер, установка готова к работе. Первоначальное обучение не требуется, так как библиотеки, используемые в алгоритме, позволяют автоматизировать данный процесс.

В итоге, мы получаем идеально равновесную систему, которая может поддерживать любые углы наклона в абсолютно любых условиях. За счет использования унифицированной платформы проект получился бюджетным и без потери качественных показателей, а использование доступного языка программирования позволит производить корректировку.

```
#include "MPU6050_6Axis_MotionApps20.h"

#if I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_ARDUINO_WIRE
#include "Wire.h"
#endif

#define MIN_ABS_SPEED 20

MPU6050 mpu;

// MPU control/status vars
bool dmpReady = false; // set true if DMP init was successful
uint8_t mpuIntStatus; // holds actual interrupt status byte from MPU
```

Рис. 2.Фрагмент программы стабилизации робота балансира:

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Евдокимов Ю.К., Линдваль В.Р., Щербаков Г.И.* Labview для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Учебное пособие. – М.: ДМК Пресс, 2008. С. 400.

2. Analog Devices/Техническая документация/ AD596/Ad597 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD596_597.pdf (дата обращения 21.05.18).

3. ROBOTCLASS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://robotclass.ru/tutorials/arduino-accelerometer-mpu6050/ (дата обращения 10.04.2019).

ROBOT BALANCING ON UNIFIED ARDUINO PLATFORM

Fayurshin Rasul

frasf10@yandex.ru

Supervisor: Alexander Kirsanov, PhD, Ass. Professor

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

The features of the development of an automated installation of a balancing robot are shown. The structure of the system for calculating and controlling the angle of the base is substantiated. The main units of the electrical and conceptual circuit of the measuring and control system, the results of modeling their work in the Arduino environment are shown. The installation, intended for automated observance by the robot of equilibrium under any external influences, can also be used for industrial applications in machines that require maximum precision of the inclination of the treated surface.

УДК 629.735.33.065.063.6

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ШТАНГИ БПЛА НА ЭТАПЕ ДОЗАПРАВКИ

Хазимуратов А.Р.
KhazimuratovAR@mail.ru
Научный руководитель: С.А.Терентьев, к.т.н, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева)

Аннотация

В настоящее время одним из самых сложных маневров летательных аппаратов является дозаправка в воздухе. Наиболее тяжелее выполнить данный элемент пилотажа на БПЛА. Так как для его выполнения необходим контроль со стороны человека. В данной работе проведен вариант реализации штанги дозаправки БПЛА, а также разработан новый алгоритм стыковки заправляемого БПЛА к всамолету-дозаправщику с гибким шлангом.

САУ спроектирована по принципу грубого и точного контура. Это значит, что БПЛА подлетает к танкеру с помощью радиолокационных систем или же системы ГЛОНАСС (данную систему все чаще внедряют в современные летательные аппараты). Далее происходит стыковка с помощью точного контура, основанного на выдвижной двухприводной роботизированной штанге. Ниже приведен эскиз роботизированной штанги. Носовая часть БПЛА изменена для увеличения аэродинамических показателей летательного аппарата и для возможности уборки штанги без использования дополнительных люков, как например на самолетах МиГ-31. А также при выпуске штанги появляется доступ для блока технического зрения. Выбран именно такой вид штанги, у которого 2 привода у основания, так как обладает компактностью, легкостью конструкции и энергоэффективностью, по сравнению с другими вариантами исполнения объекта управления.

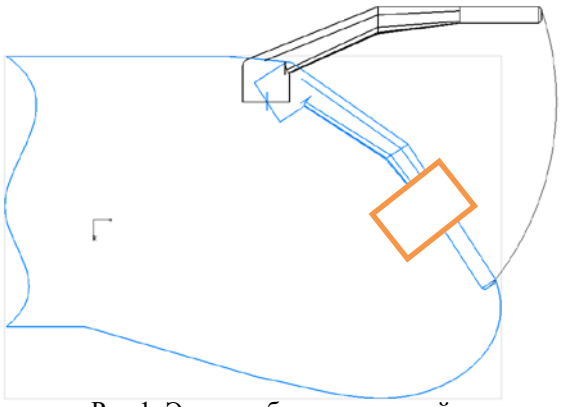


Рис.1. Эскиз роботизированной штанги

В рассматриваемой системе две степени свободы, описывающие движения по крену и тангажу.

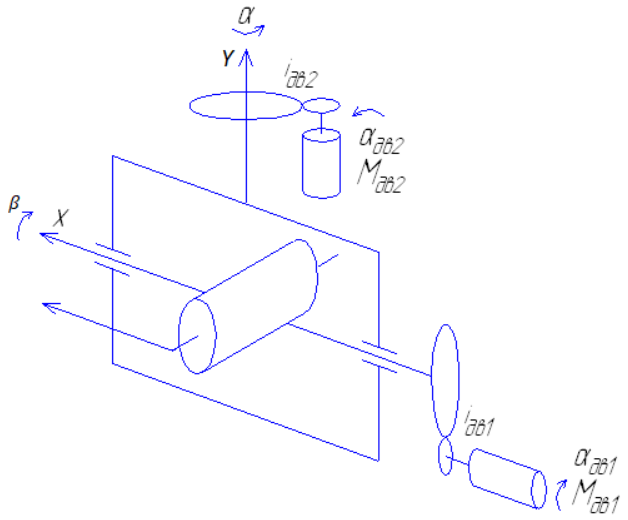


Рис.6 Схема штанги

За обобщённые координаты принимем угловые перемещения штанги вокруг осей x и y. Соответственно, $q_1 = \alpha, q_2 = \beta$. Далее представлена система уравнений Лагранжа для данной двухканальной системы:

$$\begin{cases} \ddot{\alpha} * i_{дв2} * J_{дв2} + \ddot{\alpha} * J_в + \ddot{\alpha} * m_{дв1} * L^2 + \ddot{\alpha} * J_y * cos^2\beta + \ddot{\alpha} * J_z * sin^2\beta = \\ = M_{дв2} * i_{дв2} + M_{c1} \\ \ddot{\beta}\left(i_{дв1}^2 * J_{дв1} + J_x\right) + J_y * \dot{\alpha}^2 * cos\beta * sin\beta + J_z * \dot{\alpha}^2 * sin\beta * cos\beta + \\ + J_{xz} * \dot{\alpha} * \dot{\beta} * cos\beta = M_{дв1} * i_{дв1} + M_{c2} \end{cases} \quad (1)$$

Можем сделать вывод, что один на один канал поступают позмущения от другого канала и наоборот. После линеаризации получим следующие уравнения:

$$\begin{cases} \ddot{\alpha}\left(i_{дв2} * J_{дв2} + J_в + m_{дв1} * L^2 + J_y + J_z\right) = M_{дв2} * i_{дв2} \\ \ddot{\beta}\left(i_{дв1}^2 * J_{дв1} + J_x\right) = M_{дв1} * i_{дв1} \end{cases} \quad (2)$$

Построим структурную схему для одного канала системы (рисунок 2):

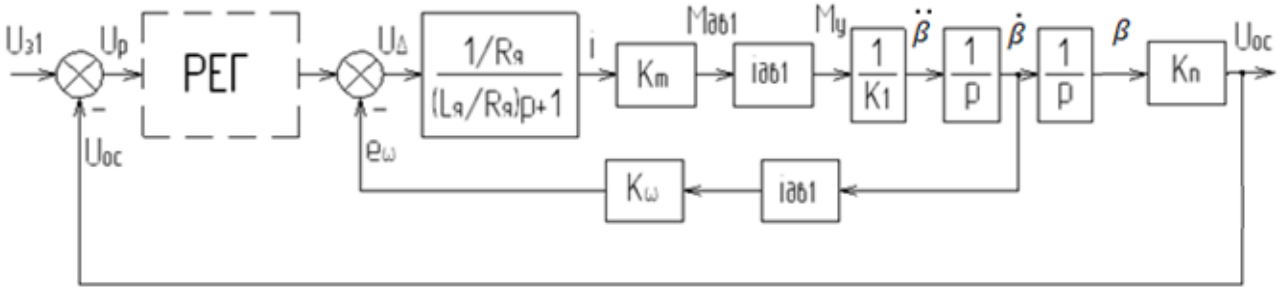


Рис.2. Структурная схема одного канала системы

Были рассчитаны все коэффициенты в блоках схемы и построены ЛАЧХ и ЛФЧХ. Рассчитана желаемая характеристика и методом последовательной коррекции рассчитан и выбран регулятор. Все характеристики приведены на рисунке 3:

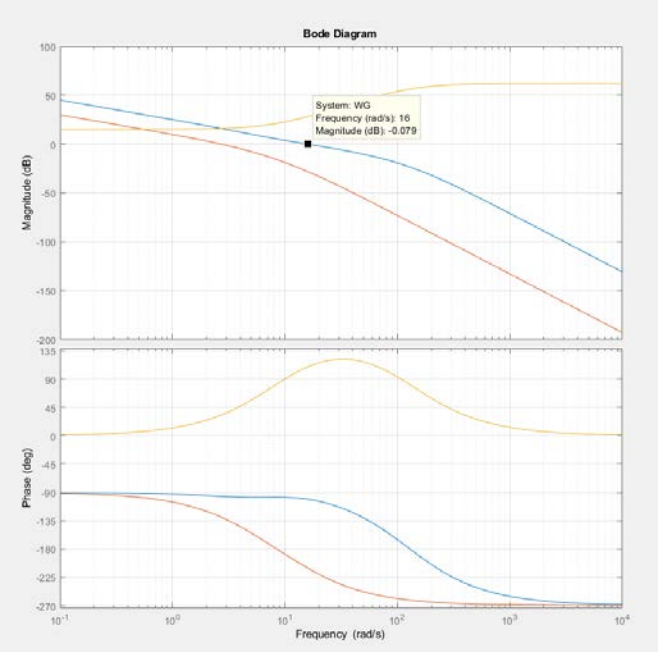


Рис.3. ЛЧХ первого канала.

В среде Matlab Simulink смоделирована структурная схема с регулятором и подан сигнал в виде единичного скачка, на который система реагирует с временем переходного процесса 0,184 с и перерегулированием в 18,2%, что удовлетворяется предъявленным техническим требованиям.

Далее рассмотрим алгоритм стыковки БПЛА к конусу. Получив сигнал по РЛС БПЛА движется к самолету – дозаправщику, далее сбрасывает скорость до 500 км/ч (скорость дозаправки), находясь на удалении от конуса дозаправки в 1 м. В ходе дозаправки предполагается устойчивость БПЛА по высоте и курсу полета. Выпускается штанга и включается техническое зрение. Изображение, полученное в режиме реального времени, обрабатывается по альфа-каналу, фильтрует только область попадания штанги, рассчитывает координаты и углы перемещения приводов и передает информацию соответственно приводам. Код программы движения штанги реализован таким образом, что на штангу не воздействуют возмущения, получаемые с БПЛА. Такая технология присутствует в стабилизаторах видеокамер. После наведения штанги на цель происходит стыковка увеличением подачи топлива на двигатели и после стыковки снова снижением скорости до 500 км/ч. Осуществляется возврат штанги в «нулевую» позицию, происходит перекачка топлива. После получения сигнала остановки перекачки или полного бака, происходит расстыковка снижением скорости БПЛА, уборкой штанги и возвратом на прежнюю траекторию полета. Данный алгоритм является цикличным, то есть будет постоянно осуществлять цикл, пока не произойдет дозаправка.

Проведен анализ полученных результатов в таблице 1 и вывод следующий: полученное управление соответствует требованиям по времени наведения на цель.

Таблица 1 – Зависимость времени наведения на цель от позиции.

Позиция	Движение по вертикали, сек	Движение по горизонтали, сек
0	0	0
0,25	0,51	0,48
0,5	0,99	0,975
0,75	1,48	1,46
1	2,03	1,95

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаков Н.А., Воронов А.А., А.А.Воронова А.А. и др.; Под ред. Воронова А.А.. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов по спец. “Автоматика и телемеханика”. В 2-х ч. Ч.1. Теория линейных систем автоматического управления – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 367 с.

2. Булычев А.Л., Галкин В.И.. Аналоговые интегральные схемы: справочник. 2-е изд – М.: Энергоиздат, 1988. – 456с.

3. Копылов, Клоков Б.К.. Справочник по электрическим машинам: в 2т. – М.: Энергоиздат., 1988. – 456с.

4. Мироновский Л.А., Петрова К.Ю. Введение в Matlab. Уч. пособие. Санкт-Петербург. – 122 с. 2005г.

5. Моисеев В. С., Гущина Д. С., Моисеев Г. В. Основы теории создания и применения информационных беспилотных авиационных комплексов // Современная прикладная математика и информатика. Казань. 2010

6. Моисеев В.С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: монография. – Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования» (Серия «Современная прикладная математика и информатика»). – 768 с. 2015г.

7. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики: Учеб. Для машиностроит. и приборостроит. спец. Вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1990. – 607 с.

8. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника (полный курс): Учебник для вузов. Под. ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 768 с.

9. Прохоров С.Г., Хуснутдинов Р.А. Электрические машины: Учебное пособие: Для студентов очного и заочного обучения/ Казань: Изд-во казан. гос. техн. ун-та, 2002. – 164 с.

10. Чекмарёв А.А. Справочник по машиностроительному черчению/ А.А. Чекмарёв, В.К. Осипов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк. 2002. – 493 с.

11. «Электродвигатели постоянного тока коллекторные со стабилизацией частоты вращения» [Электронный ресурс], код доступа: https://eandc.ru/pdf/dvigateli/dpm.pdf

12. Дозаправка в воздухе [Электронный ресурс]. – код доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Дозаправка_в_воздухе

UDC 629.735.33.065.063.6

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR A MECHANIZED UAV BAR AT THE REFUELING STAGE

A.R.Khazimuratov

KhazimuratovAR@mail.ru

Supervisor: Terentyev S.A., PhD, associate professor

(*Kazan national research technical university named after A.N.Tupolev – KAI, Kazan*)

Abstract

In our days, one of the most difficult maneuvers of aircraft is air refueling. The hardest to perform this element of piloting on the UAV. Since its implementation requires control by the person. In this paper, an embodiment of the implementation of the UAV refueling bar has been carried out, and a new algorithm has been developed for connecting the refueling UAV to the refueling aircraft with a flexible hose.

УДК 53.087.92

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ ГОЛОВКИ

Чадаев В.С.
vova-chadaev@mail.ru
Научный руководитель: А.А.Теперин
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», Казань)

В данном проекте разработан компактный датчик магнитного поля и система анализа, подходящий для использования при калибровке процессов индукционного нагрева, таких как герметизация фольгированной крышки или термическая обработка металлов. Компактный датчик представляет собой автономную измерительную катушку и компоненты для хранения, обработки и передачи сигнала. Обнаруженные и обработанные сигналы передаются на удаленные подсистемы хранения, обработки и отображения с датчика.

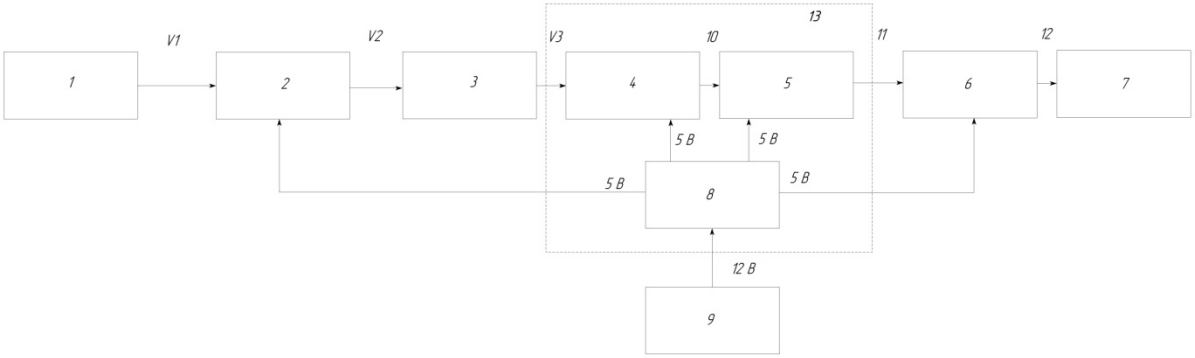
Данный датчик необходим при калибровке процессов индукционного нагрева. Приведем пример необходимости контроля процесса индукционного нагрева. В процессе укупорки бутылок может возникнуть несколько проблем. Недоэкспонирование может привести к слабой или неполной герметизации. Переэкспонирование вызывает чрезмерное нагревание слоя фольги, которое может разрушить пластиковый контейнер [1]. Как видно из данного примера контроль процессов индукционного нагрева очень важен, поэтому целью данной работы является обеспечение всестороннего анализа воздействия оборудования индукционного нагрева для прогнозирования его точной работы.

Для начала был проведен патентный поиск с целью определения технического уровня и патентоспособности результатов работы по данной теме.

В итоге было найдено и рассмотрено несколько патентов и статей. Изучив все достоинства и недостатки различных решений, за основу был взят патент, который называется “Датчик воздействия магнитного поля и система анализа с использованием АЦП” [1]. Датчик в выбранном техническом решении достаточно компактен, имеет высокую чувствительность, легкий вес, а также, сможет генерировать профиль мощности.

Далее, были рассмотрены несколько методов измерения параметров магнитного поля, а именно: метод магнитной индукции и метод Холла [2]. Рассмотрев их достоинства и недостатки, в качестве метода измерения параметров был выбран метод магнитной индукции. Метод Холла не подошел из-за одного важного недостатка, а именно то, что датчик Холла будет обнаруживать только низкочастотные магнитные поля.

На основе выбранного патента и метода измерения была составлена структурная схема.

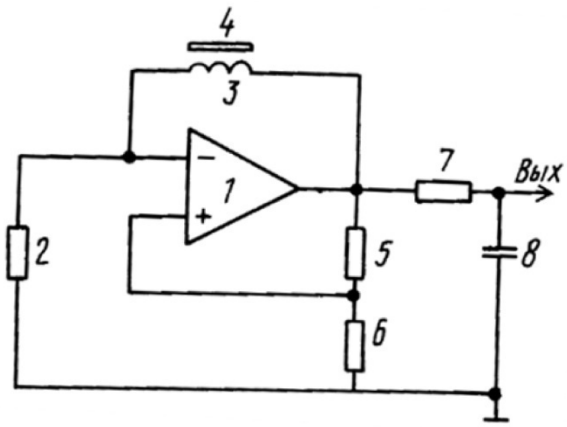


1 – Структурная схема

1 – измерительная катушка;
2 – усилитель;
3 – детектор огибающей;
4 – аналого-цифровой преобразователь;

5 – микроконтроллер;
6 – контроллер Bluetooth;
7 – карманный ПК;
8 – стабилизатор напряжения;
9 – источник питания;
10 – цифровой код;
11 – протокол UART;
12 – радиоканал;
13 – МП система.

Далее был произведен выбор элементов данной конструкции. Для обработки и усиления сигнала с измерительной катушки было найдено несколько схемных реализаций. Представленная ниже схема позволяет получить детектор сигналов с одновременным автоматическим смещением относительно нуля [3].



2 – Датчик магнитной индукции с интегрирующей RC-цепью

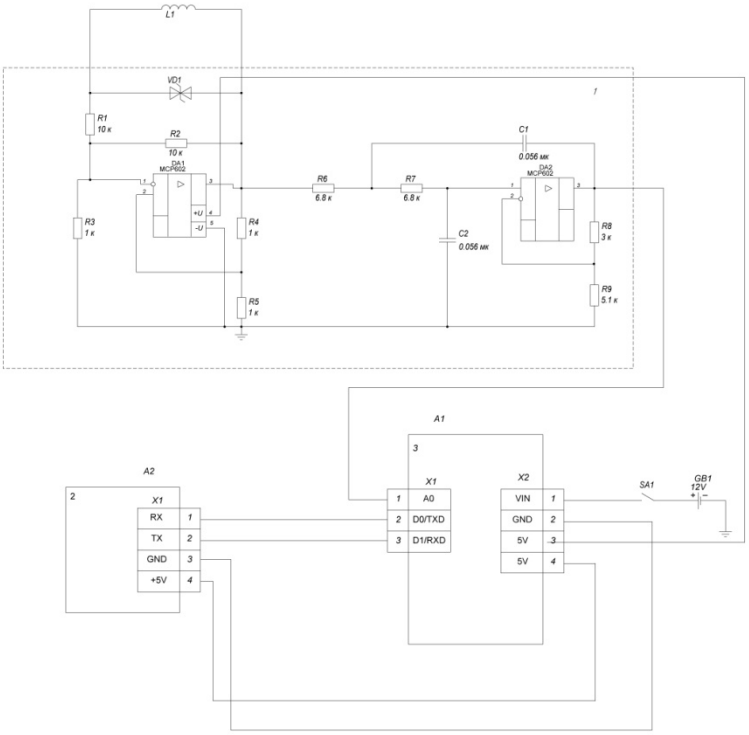
Таким образом, в дальнейшем можно применить вместо амплитудного детектора активный RC-фильтр и получить сигнал, пропорциональный огибающей входного сигнала. Поэтому была выбрана эта схема.

Далее рассмотрим выбор детектора огибающей. Были найдены и рассмотрены несколько схемных реализации. Был выбран активный фильтр второго порядка [4], т.к. у него достаточно простая техническая реализация, малое число элементов, легкая регулировка, а также, отсутствуют жесткие требования к применяемому операционному усилителю.

В качестве микроконтроллера был выбран Arduino [5], так как он имеет в своем наличии АЦП и стабилизатор питания, а также готовые библиотеки для программирования Arduino. Контроллеры Arduino имеют огромное количество версий. Была выбрана версия Nano, т.к. она достаточно компактна и имеет порт USB. В качестве среды программирования была выбрана программа FLprog [6]. Она предлагает более простой способ программирования, а именно написание программы на языках FBD и LAD.

В качестве передачи информации с Arduino я выбрал беспроводную передачу данных, а в качестве модуля-передатчика выбрал Bluetooth HC-06[7], т.к. у него достаточно малый ток потребления.

В результате составили электрическую схему, в состав которой входят все вышеперечисленные компоненты.



3 – Схема электрическая принципиальная

1 – плата усилителя и детектора огибающей;

2 – модуль Bluetooth;

3 – Arduino.

В качестве измеряемого параметра магнитного поля возьмем напряженность. Для того чтобы получить на выходе Arduino напряженность магнитного поля, для начала необходимо выразить магнитную индукцию через напряжение (1) [8]:

$$\boldsymbol{E = K_f * B}. \quad (1)$$

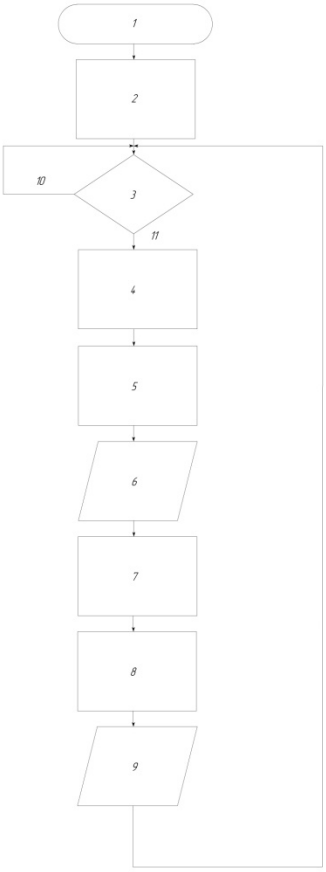
Видим, что для этого необходимо найти коэффициент преобразования магнитного поля. Существует несколько способов нахождения коэффициента: экспериментальный и теоретический. Воспользовавшись вторым способом, мы нашли коэффициент преобразования по формуле (2):

$$K_f = \frac{8*\pi*\lambda*H(R_2^3-R_1^3)}{3*D^2} * f. \quad (2)$$

Теперь легко можно найти магнитную индукцию, а также напряженность, связанную с магнитной индукцией соотношением (3):

$$\boldsymbol{B = \mu_0 * \mu * H}. \quad (3)$$

Далее был разработан алгоритм программы.



4 – блок-схема алгоритма

1 – начало;
2 – настройка компонентов системы;
3 – разрешение таймера главного цикла;
4 – запуск преобразования;
5 – ожидание преобразования;
6 – чтение данных с регистра АЦП;
7 – масштабирование сигнала;
8 – вычисление фактического значения;
9 – вывод в последовательный порт;
10 – нет;
11 – да.

На основе этой блок-схемы была составлена программа для контроллера.

В итоге было разработано устройство измерения параметров переменного магнитного поля индукционной головки. В ходе работы был произведен анализ всех найденных технических решений измерения величины магнитного поля. Разобраны несколько методов измерения параметров. Была подобрана элементная база с учетом выбранного метода измерения параметров и взятого за основу технического решения.

Построили электрическую принципиальную схему, рассчитали ее элементы. Также успешно был проведен эксперимент и получен профиль напряженности в программе КПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Magnetic field exposure sensor and analysis system. [Электронный ресурс] URL: https://patents.justia.com/patent/6486664

https://patents.google.com/patent/US6486664B1/en?q=Exposure&q=meter&q=use&q=indiction&q=heat&q=sealing&q=containers&oq=Exposure+meter+for+use+with+indiction+heat+sealing+of+containers

2. Средства и методы измерения магнитных величин. [Электронный ресурс]URL: http://electricalschool.info/spravochnik/izmeren/1846-sredstva-i-metody-izmerenija-magnitnykh.html

3. Датчик магнитного поля.[Электронный ресурс] URL: https://patents.google.com/patent/RU2079147C1/ru

4. *Е.Н.Егоров, А.А.Короновский, А.Е.Храмов* Активные фильтры. Учебно-методическое пособие – Саратов: Факультет нелинейных процессов. Кафедра электроники, колебаний и волн, 2010, 1 – 5 с.

5. Arduino Nano [Электронный ресурс]URL:http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano

6. Программа FLprog [Электронный ресурс] URL: https://flprog.ru/

7. Модуль Bluetooth HC-06 [Электронный ресурс] URL:https://amperka.ru/product/hc-06-bluetooth-module

8. Измерение индукции переменного магнитного поля с помощью измерительной катушки [Электронный ресурс] URL:http://imlab.narod.ru/M_Fields/MF_Coil/MF_Coil.htm

MEASURING SYSTEM OF PARAMETERS OF A VARIATION MAGNETIC FIELD OF AN INDUCTION HEAD

Chadaev V.S.

vova-chadaev@mail.ru

Supervisor: A.A.Teperin

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

In this project are being developed at the compact magnetic field exposure sensor and analysis system suitable for use in the calibration of induction heating processes such as foil cap sealing or the heat treatment of metals. The compact sensor is a self-contained sensing coil, and signal storage, processing and transmitting components. Detected and processed signals transmitted to remote storage, processing and display subsystems from the sensor.

ПОДСЕКЦИЯ 5.3

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 681.785.5

РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ЭШЕЛЛЕ-СПЕКТРОГРАФА

Бакшаев М.К.
nirknitu_oes@mail.ru
Научный руководитель: Э.Р. Муслимов, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В работе рассматриваются современные эшелле-спектрографы. Сформулированы технические требования для разработки спектрографа. Показана разработанная оптическая схема эшелле-спектрографа для спектрального диапазона от 170 до 855нм.

Методы спектрального анализа и реализующие их спектрографы широко используются для решения различных задач в промышленности, медицине, научных исследованиях и других областях. Развитие направления оптико-электронного приборостроения, связанного с разработкой спектрографов, требует постоянного повышения их основных оптических характеристик. К таким характеристикам можно отнести показатели дисперсии и спектрального разрешения, одновременно регистрируемый спектральный диапазон, апертуру системы и ее коэффициент пропускания.

Использование дифракционных решеток эшелле, т.е. решеток с малой частотой штрихов, работающих в высоких порядках дифракции, позволяет создавать спектрографы с высокой спектральной разрешающей способностью в широком диапазоне длин волн. Такие приборы как ICPE-9000 производства Shimadzu [1], Prodigy High Dispersion ICP производства Teledyne Leeman Labs [2], PLASMAQUANT PQ 9000 производства Analytik Jena [3], ICP-OES -5000 производства Focused Photonics [4], ELIAS производства LTB Lasertechnik Berlin GmbH [5], DEMON производства LTB Lasertechnik Berlin GmbH [6], или ARYELLE 400 производства LTB Lasertechnik Berlin GmbH [7] строятся на базе решеток-эшелле и широко применяются для лабораторных спектральных измерений.

Большинство из названных приборов используются как инструменты для атомной эмиссионной спектроскопии, которая является важным методом исследований в анализе металлов и сплавов, исследовании биологических образцов, технологическом контроле продуктов химической промышленности или изучении состояния окружающей среды.

В Таблице 1 представлены основные оптические характеристики перечисленных выше приборов.

Таблица 1

Инструмент	Рабочий диапазон, нм	Спектральное разрешение, нм	Обратная линейная дисперсия, нм/мм
		при λ = 200 нм	
ICPE-9000	167-800	0,0050	0,21
Prodigy High Dispersion ICP	165-1100	0,0048	0,06
PLASMAQUANT PQ 9000	160-900	0,0060	-
ICP-OES-5000	165-870	0,0070	-
ELIAS	157-1100	-	0,20
DEMON	190-1100	0,0025	-
ARYELLE 400	190-1100	0,0006-0,0057	-

В Таблице 2 представлены габариты, вес, и область применения перечисленных выше приборов.

Таблица 2

Инструмент	Габариты, мм	Вес, кг	Область применения
ICPE-9000	1300x660x720	210	Эмиссионный химический анализ
Prodigy High Dispersion ICP	132x56x71	105	Атомно-эмиссионный
PLASMAQUANT PQ 9000	987x937x765	170	Атомно-эмиссионный
ICP-OES -5000	935x732x659	98	Атомно-эмиссионный
ELIAS	1400x310x250	50	Изотопная спектроскопия
DEMON	600x310x230	25	Спектроскопия плазмы
ARYELLE 400	450x280x240	20	Атомно-абсорбционный / эмиссионный

Сравнительный анализ существующих решений позволил сформулировать следующие технические требования к разрабатываемому спектрографу:

1. Рабочий спектральный диапазон 170-855нм;
2. Обратная линейная дисперсия в области 250нм не более 0,41нм/мм;
3. Рабочая ширина входной щели 15-25мкм;
4. Габаритный размер схемы не более 750×350мм;
5. Размер изображения спектра 45×45мм; (размер пикселя 11×11мкм).

В результате расчетов по алгоритму, описанному в [8], была получена оптическая схема, показанная на Рисунке 1.

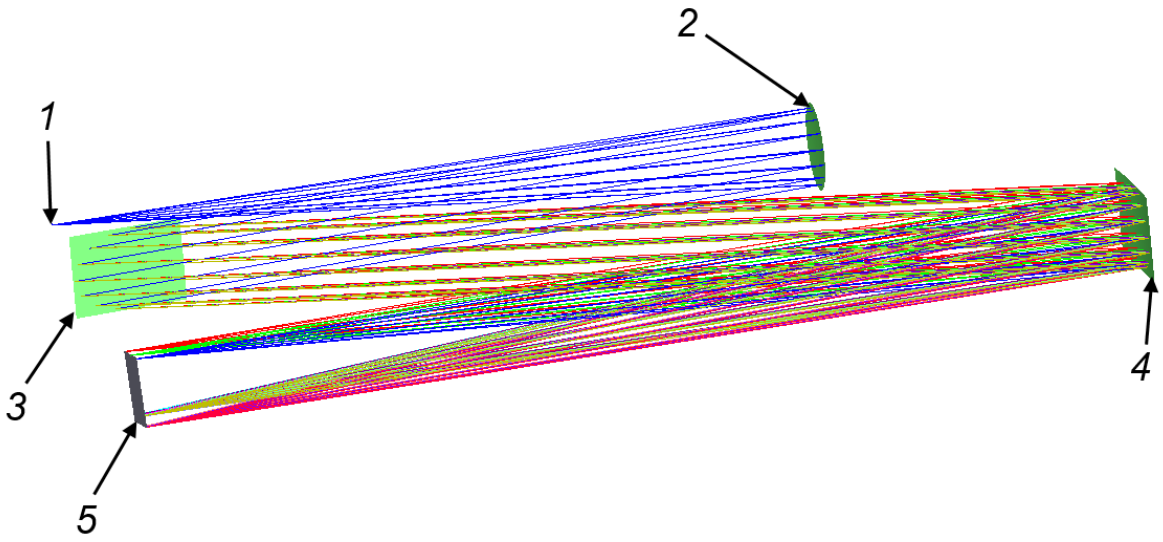


Рис. 1. Оптическая схема эшелле-спектрографа

На рисунке обозначены: 1 – входная щель, 2 – коллиматор, 3 – эшелле, 4 – голограммная решетка скрещенной дисперсии, 5 – фотоприемная матрица. Коллиматор представляет собой внеосевое параболическое зеркало с фокуасным расстояниям 492 мм; решетка эшелле имеет частоту штрихов 43,5 мм$^{-1}$ и работает в схеме, близкой к автоколлимационной с углом падения 57,85°. Для исключения экранирования введен дополительный разворот решетки в меридиональной плоскости на 7°. Вогнутая голограммная дифракционная решетка выполняет функции камерного зеркала и устройства скрещенной дисперсии. Радиус кривизны поверхности равен 1308,2 мм, частота штрихов 102,5 мм$^{-1}$. Решетка формируется путем записи интерфернционной картины от двух точечных источников излучения, что позволяет ввести коррекцию аберраций.

Схема заполнения кадра показана на Рисунке 2. Разработанная оптическая схема должна обеспечить спектральную разрешающую способность до R=12 600.

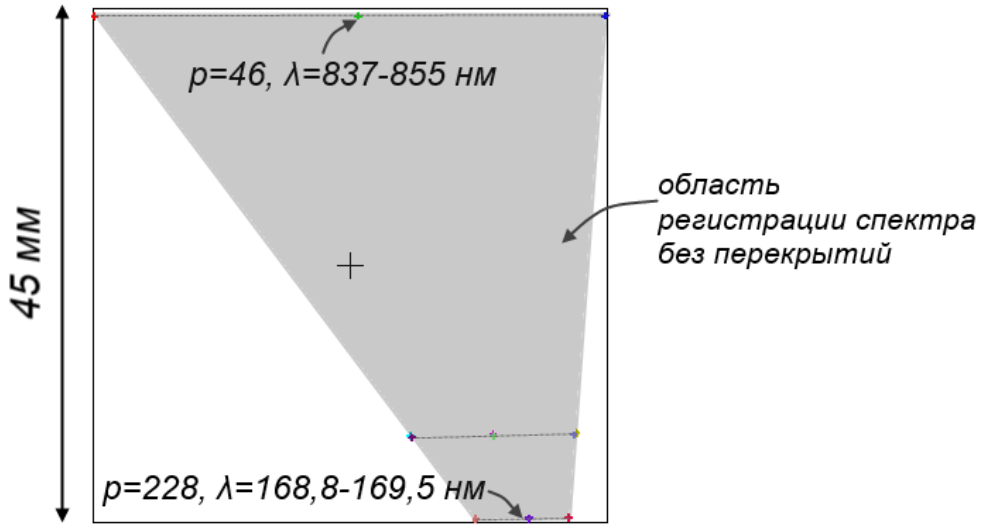


Рис. 2. Схема заполнения кадра спектрографа

Разработанная оптическая схема может быть использована для создания нового отечественного лабораторного спектрографа повышенного разрешения. Такой прибор в настоящее время был бы широко востребован в промышленности.

Дальнейшие этапы разработки спктрографа включают моделирование и анализ качества изображения, анализ допусков, проектирование отдельных функциональных узлов и элементов прибора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ICPE-9000 Multitype ICP | shimadzu [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://shimadzu.com.au/icpe-9000-multitype-icp/. - 10.07.2019.

2. Атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой Prodigy High Dispersion ICP (Teledyne Leeman Labs., США) [Электронный ресурс]. - Режим доступа:http://www.ncm.unn.ru/2014/11/23/atomno-emissionnyj-spektrometr-s-induktivno-svyazannoj-plazmoj-teledyne-leeman-labs-prodigy-high-dispersion-icp/. - 10.07.2019.

3. ICP-OES | Analytic Jena AJ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.analytik-jena.com/products/elemental-analysis/icp-oes/plasmaquant-pq-9000/. - 10.07.2019.

4. ICP5000 Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.fpi-instrument.com/icp5000-icp-oes/137-137.html/. - 10.07.2019.

5. ELIAS | LTB Lasertechnik Berlin [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.ltb-berlin.de/produkte/spektrometer/elias/. - 08.07.2019.

6. DEMON | LTB Lasertechnik Berlin [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.ltb-berlin.de/produkte/spektrometer/demon/. - 10.07.2019.

7. ARYELLE 400 | LTB Lasertechnik Berlin [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.ltb-berlin.de/en/products/spectrometers/aryelle-400/. - 06.07.2019.

8. Пейсахсон И. В. Оптика спектральных приборов. Изд. 2-е, доп. и перераб., Л., «Машиностроение» (Ленингр. отделение), 1975. 312 с. с ил.

DEVELOPMENT OF OPTICAL DESIGN OF ECHELLE-SPECTROGRAPH

Bakshaev M.
nirknitu_oes@mail.ru
Supervisor: E. Muslimov, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Modern echelle spectrographs are considered in the paper. The technical requirements for the development of the spectrograph are formulated. The developed optical scheme of the echelle spectrograph for the spectral range from 170 to 855nm is shown.

УДК: 535.3

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В СТЕКЛЕ ТЕНЕВЫМ МЕТОДОМ

Газизова В.Л., Ганиева А.И.
Viktoria20620@mail.ru, adelyaganieva@mail.ru
Научный руководитель: Н.А. Петрановский
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной работе описана установка, которая позволяет определять наличие неоднородностей в стекле теневым методом, а именно шлирен-методом. В установке используется ирисовая диафрагма, в отличие от традиционного использования щели, что позволяет регулировать относительное отверстие, благодаря изменению диаметра проходящих через нее пучков света. Такие образом, мы можем управлять светопропусканием и глубиной резкости. Габариты установки уменьшены в 2 раза, система более светосильная.

Крайне важно исследовать качество как оптического стекла, применяемого в оптических приборах, так и листового стекла, которое широко применяется для остекления зданий. Наличие дефектов приводит к ухудшению механических свойств стекла. Современная задача теневого метода заключается в определении неоднородностей в оптическом и листовом стеклах и их последующее устранение.

Теневой метод впервые был предложен Л.Фуко в 1858 году для контроля качества изготовления объектива телескопа: он применил в фокальной плоскости объектива специальную диафрагму - непрозрачную полуплоскость, получившая название «нож Фуко». Теневой метод позволяет регистрировать углы отклонения луча неоднородностью, сочетая в себе достаточную простоту оптической системы с высокой чувствительностью. [1]

Под неоднородностями в стекле понимают такое понятие как свили. Свили - стекловидные включения нитевидной формы, отличающиеся от основной стекломассы химическим составом или свойствами.

Был проведен обзор наиболее известных отечественных теневых приборов, которые использовались на производстве. Одним из таких является теневой прибор ИАБ-451, серийно выпускающийся Казанским оптико-механическим заводом в 1941-80 гг. Прибор состоит из двух систем: осветительной или коллиматорной (для просвечивания параллельным пучком лучей исследуемой среды) и приемной (для наблюдения и фотографирования картин обтекания моделей). Каждая часть представляет собой металлическую трубу длиной 2400 мм с максимальным диаметром 320 мм. Вес каждой трубы около 150 кг. Диаметр наблюдаемого поля 230 мм, фокусное расстояние объективов коллиматоров 1917 мм.

Теневой прибор ИАБ-453 является усовершенствованной моделью прибора ИАБ-451. Прибор представляет собой два корпуса, внутри которых расположены одинаковые зеркально-менисковые объективы, служащие основными объективами коллиматорной и приемной частей теневого прибора. Диаметр поля зрения 230 мм, фокусное расстояние

основных объективов 1904,3 мм, вес каждой трубы 150 кг, длина 2,5 м, максимальный диаметр 320 мм.

Теневой прибор ТЕ-19 по сравнению с ИАБ-451 является более универсальным и малогабаритным. Прибор так же состоит из двух частей: коллиматорной и приемной. Размеры коллиматорной части: длина 950 мм, высота вместе с осветителем 1150 мм, ширина 400 мм. Габариты приемной части: длина 950 мм, высота 400 мм, ширина 400 мм. Световой диаметр объективов 150 мм, фокусное расстояние 1500 мм. Вес обеих частей 200 кг. Уменьшение габаритов прибора ТЕ-19, по сравнению с ИАБ-451, делает данный прибор более удобным в практической работе. Уменьшается потребность в производственной площади установки прибора, становится легче проводить операции с изучаемым объектом и размещать другую измерительную аппаратуру. Но он остается достаточно громоздким. [2]

Все серийно выпускающиеся приборы являются крупногабаритными и предназначены для визуализации и определения параметров газовых неоднородностей в лабораторных и производственных условиях и не подходят для контроля листового стекла. А для определения дефектов стекла разработаны установки, реализующие шлирен метод.

Шлирен-метод позволяет либо рассматривать на экране, либо делать фотографии стекла в виде контрастных теневых картин (полос, закалочных пятен), представляющее собой неравномерное распределение яркости света, вследствие различия углов отклонения лучей света на неоднородностях в стекле.

В качестве примера такой установки рассмотрим квази-шлирный прибор - специализированную установку, позволяющую исследовать стекло шлирен-методом и использующуюся в производстве. Принципиальная схема данного прибора представлена на рис. 1.

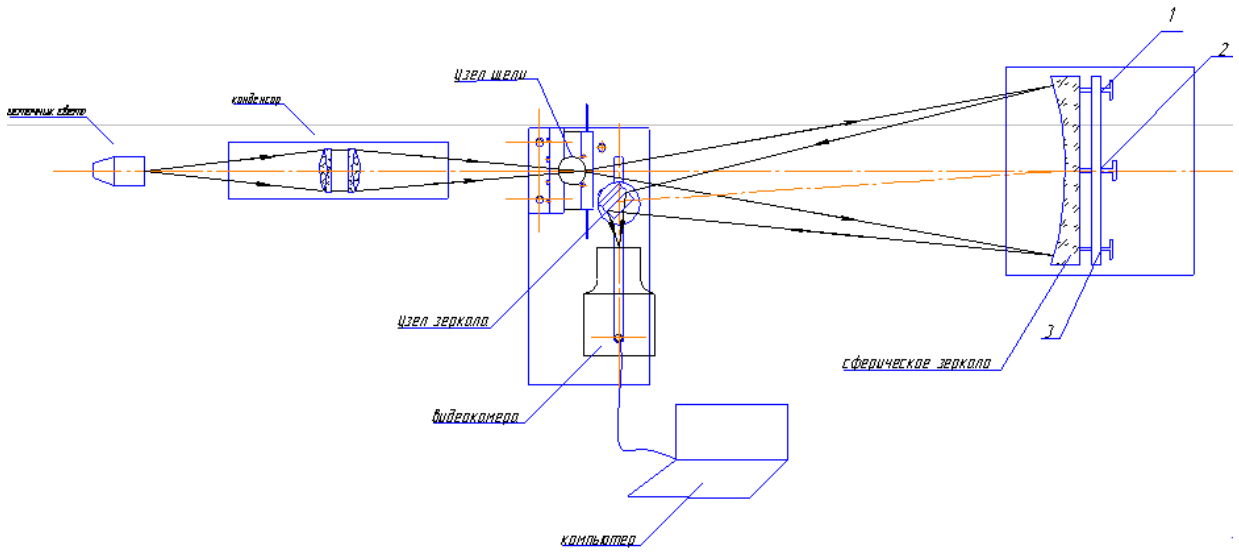


Рис.1. Принципиальная схема квази-шлирного прибора

Основными частями прибора являются сферическое зеркало размером 250х250 мм с радиусом кривизны 2500 мм, оптический узел и видеокамера с фокусным расстоянием 40 мм.

В качестве прототипа целесообразнее выбрать квази-шлирный прибор, рассмотренный ранее, так как это единственный прибор, подходящий для исследования дефектов листового стекла. Наша задача заключается в уменьшении габаритов данного прибора для удобства его использования на производстве.

Традиционно в теневых приборах для получения изображения применяется щель, регулируемая по ширине и положению. При использовании щели на входной зрачок объектива попадает тонкая полоска света. В данной установке оптимальным является

использование ирисовой диафрагмы для полного заполнения зрачка объектива. Оптическая схема разработанной установки приведена на рис. 2.

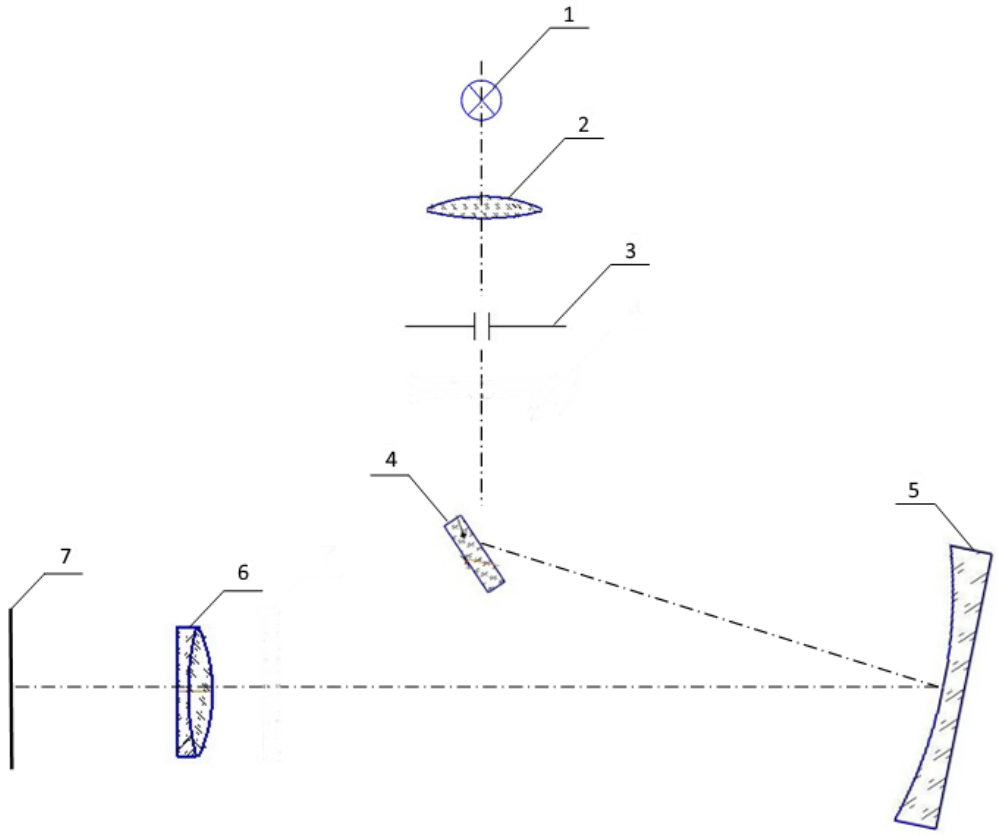


Рис.2. Оптическая схема установки

В состав установки входят:
1 – источник излучения;
2 – конденсор;
3 – ирисовая диафрагма;
4 – плоское зеркало;
5 – сферическое зеркало;
6 – видеокамера;
7 – ПК.

Схема работает следующим образом: источник света с помощью конденсора освещает изображение ирисовой диафрагмы, которая потом передается сферическим зеркалом на входной зрачок объектива видеокамеры. Исследуемый образец устанавливается перед сферическим зеркалом и фокусируется объективом видеокамеры на чувствительной площадке многоканального приёмника.

В данной установке радиус кривизны сферического зеркала 1250 мм (диаметр 250 мм), что в 2 раза меньше в отличие от её прототипа. Наша схема является более светосильной, так как относительное отверстие в 2 раза больше.

На данной установке были проведены экспериментальные исследования образцов: листового стекла, оргстекла. Результаты приведены на рис. 3-4.

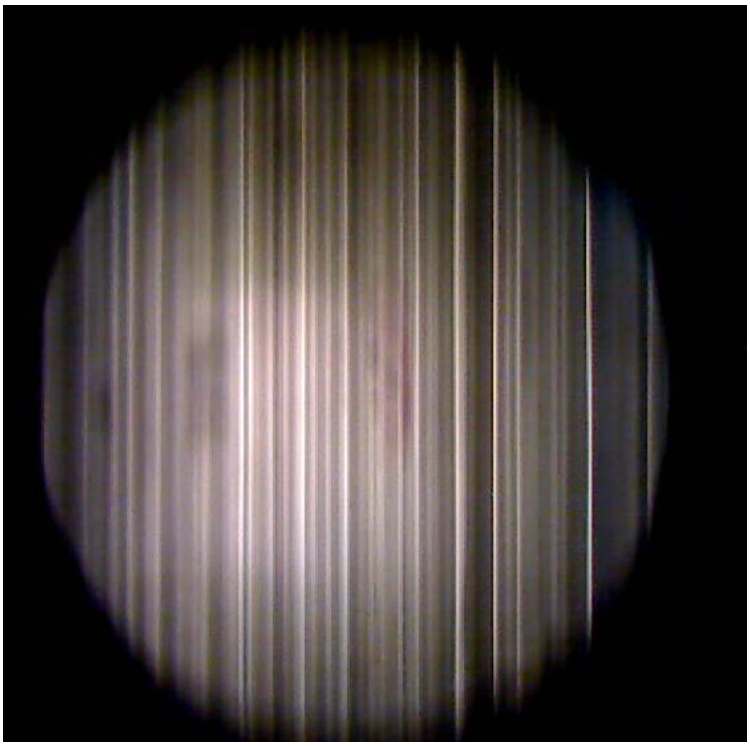


Рис. 3. Теневая картина листового стекла с внутренней свилью

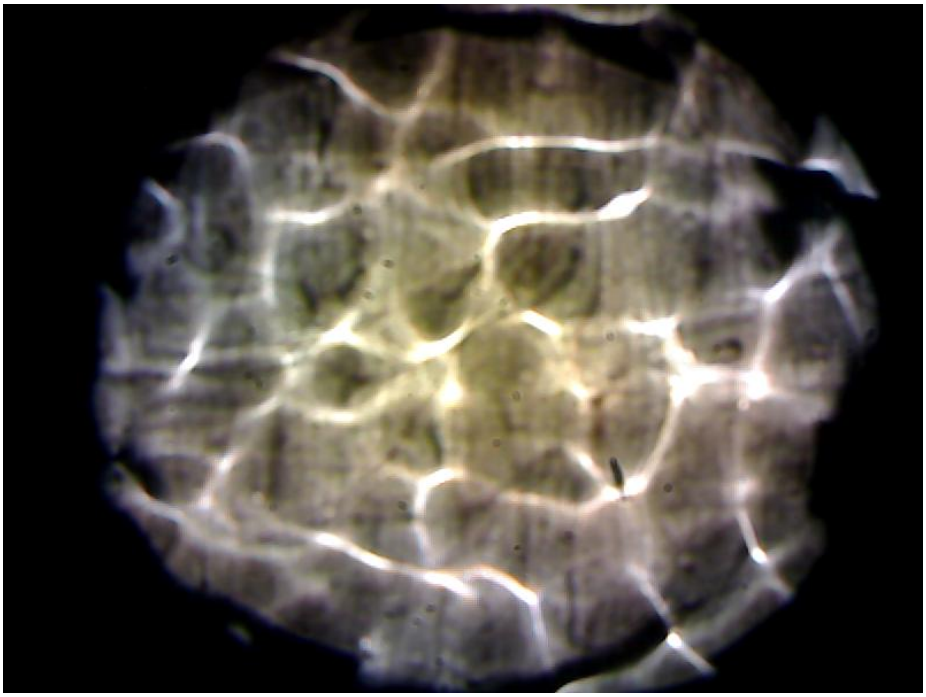


Рис. 4. Теневая картина образца плексиглаза с внутренней свилью

В ходе опыта, стало заметно, что на данных образцах есть дефекты в виде полос разной интенсивности, которые не определяются визуально. Наличие таких полос говорит о том, что имеются внутренние свили.

Заключение

Таким образом, разработанная нами установка может быть использована для исследования дефектов листового стекла. Данная установка является более компактной и удобной в применении ее на производстве по сравнению со своим прототипом. Габариты установки уменьшены в 2 раза, а относительное отверстие в 2 раза больше. Энергетические характеристики улучшены и осуществлено полное заполнение входного зрачка объектива

камеры, что позволяет заполнить равномерно весь кадр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Белозеров А.Ф.* Оптические методы визуализации газовых потоков. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2007. 747 с.

2. *Васильев Л.А.* Теневые методы / М.: Наука, Глав. ред. физ. - мат. литературы, 1968.

DEVELOPMENT OF AN INSTALLATION WITH IMPROVED ENERGY CHARACTERISTICS FOR DETECTING INHOMOGENEITIES IN GLASS BY THE SHADOW METHOD

Gazizova V., Ganieva A.

Viktoria20620@mail.ru, adelyaganieva@mail.ru

Supervisor: N.A. Petranovskiy, Senior Lecturer

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

This article describes an installation that allows us to determine the presence of inhomogeneities in glass by the shadow method, namely the schlieren method. The installation uses the iris diaphragm, unlike the traditional use of the slot, which allows you to adjust the relative hole, due to the change in the diameter of the passing bounds of it, the light beams. Thus, we can control the light and discharge of the field. The dimensions of the unit are reduced 2 times, the system is more light-sensitive.

УДК 621.391.272

АКУСТООПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

Гасанов Р.А., Гусейн-заде Б.Э., Алиева И.Н.

ruslan-icq@mail.ru

(Национальная Академия Авиации Азербайджана, г. Баку)

Обсуждается метод последовательного частотного анализа радиоизлучений в заданном диапазоне неопределенности, который реализуется на основе особенностей акустооптического эффекта и оптического гетеродинирования. Синтезирована структурно-электрическая схема акустооптической системы последовательного частотного анализа и установлена зависимость ее выходного отклика от входного воздействия. Обоснованы высокие потенциальные возможности предложенного метода в контексте точности определения параметров неизвестных радиоизлучений, которая обеспечивается за счет постоянства амплитудно-частотной характеристики акустооптического процессора гетеродинного типа.

Бурное внедрение радиотехнических средств (РТС) и методов в военную промышленность привело к появлению новых правил ведения боя. Одним из факторов, определяющих мощь современной военной машины, является средства радиопротиводействия и контррадиопротиводействия, которые объединяются в одну единую группу – средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Для проведения радиопротиводействия, т.е. нарушения правильного функционирования РТС противника необходимо обладать определенной информацией об объекте воздействия. Такая же задача возникает и при контррадиопротиводействии, т.е. защите «своих» РТС от средств радиопротиводействия противника. Решение задачи начинается с проведения электромагнитного мониторинга (ЭММ), в результате чего определяются и измеряются параметры неизвестных радиоизлучений, которые затем могут быть использованы как в радиопротиводействии, так и в контррадиопротиводействии.

Таким образом, первым и основным этапом РЭБ является ЭММ. Качество РЭБ во многом зависит от методов и средств осуществления ЭММ. Достоинства и недостатки различных методов ЭММ были обсуждены в книге [1]. Показано что, для достижения высокой эффективности, т.е. одновременного увеличения разрешающей способности по частоте и скорости сканирования диапазона неопределенности требуется использовать достоинства

параллельного и последовательного методов. При этом параллельный метод обеспечивает мелкомасштабный анализ частотного диапазона, а последовательный – крупномасштабный. Легко убедится, что, точность определения параметров неизвестных радиоизлучений в основном зависит от алгоритма последовательного обзора.

Метод со смещением спектра радиоизлучений предусматривает применение перестраиваемого автогенератора и может быть применен для просмотра узкого диапазона частот. Перестройка полосового фильтра, напротив, позволяет проводить анализ широкого диапазона радиочастот, но при этом не обеспечивается высокоточное определение параметров неизвестных радиоизлучений. Это обусловлено тем что, формы амплитудно-частотной характеристики известных полосовых фильтров изменяются при перестройке в широком диапазоне частот.

Таким образом, разработка методов последовательного частотного анализа, обеспечивающие высокую точность определения параметров неизвестных радиоизлучений и устройств для его реализации имеет высокую актуальность.

Метод последовательного частотного анализа свободный от указанного выше недостатка может быть реализован на основе особенностей акустооптического взаимодействия и оптического гетеродинирования [2].

В акустооптических процессорах для реализации оптического гетеродинирования формируется дополнительное опорное поле, называемое гетеродинным полем. Эффект оптического гетеродинирования происходит на светочувствительной поверхности фотоприемного устройства, на которую одновременно падают сигнальное и гетеродинное поля. Сущность оптического гетеродинирования поясняется рис.1. Пересекающий апертуру акустооптического модулятора (АОМ) на расстоянии x_0 от электроакустического преобразователя (ЭАП) гетеродинный пучок света представляется выражением:

$$\dot{E}_{\Gamma}(t) = \exp\left[j\left(\omega t + \theta_{\Gamma}\right)\right], \qquad (1)$$

где ω - частота света, $\theta_{\Gamma} = \omega \cdot (x_0/\upsilon)$ - начальная фаза гетеродинного поля.

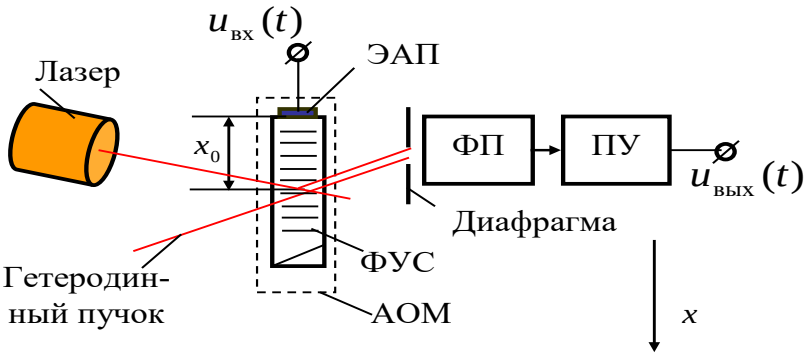


Рис.1. К пояснению принципа оптического гетеродинирования

Радиосигнал $u_{вх}(t) = \exp(j\Omega t)$ возбуждает в АОМ соответствующую упругую волну (УВ) с частотой Ω. Световой пучок взаимодействует в АОМ с УВ и частично отклоняется. Используемый в качестве сигнального поля отклоненный свет описывается соотношением

$$\dot{E}_c(t) = \exp\left[j(\omega + \Omega)t\right]. \qquad (2)$$

Фотодетектор реагирует на интенсивность суммарного поля. Поэтому выходной сигнал будет пропорционален величине

$$u(t)=\frac{1}{d}\int_{x_0-0,5d}^{x_0+0,5d}\left|\dot{E}_{\text{с}}+\dot{E}_{\Gamma}\right|^2 dx=$$

$$=\frac{1}{d}\int_{x_0-0,5d}^{x_0+0,5d}\left[\left|\dot{E}_{\text{с}}\right|^2+\left|\dot{E}_{\Gamma}\right|^2\right]dx+\frac{1}{d}\int_{x_0-0,5d}^{x_0+0,5d}\left[\dot{E}_{\text{с}}\cdot\dot{E}_{\Gamma}^{*}+\dot{E}_{\text{с}}^{*}\cdot\dot{E}_{\Gamma}\right]dx \quad , \qquad (3)$$

где d - диаметр гетеродинного пучка света.

Составляющая с частотой Ω выделяется полосовым усилителем (ПУ). Подставляя (1) и (2) в (3), получаем следующее выражение для сигнала на выходе ПУ:

$$u_{вых}(t)=c\cdot\cos\left[\Omega\left(t-x_0/\upsilon\right)\right]$$

или

$$u_{вых}(t)=c\cdot u_{\text{вх}}(t-x_0/\upsilon)\,, \qquad (4)$$

где c - постоянный множитель.

Из (4) следует, что сигнал на выходе ПУ $u_{вых}(t)$ с точностью до постоянного сомножителя повторяет задержанный на время x_0/υ входной радиосигнал - $u_{вх}(t)$.

Отметим, что эффект оптического гетеродинирования поддерживается при выполнении ряда специфических условий. К ним относятся: 1. временная и пространственная когерентность сигнального и гетеродинного пучков света; 2. согласованность волновых фронтов сигнального и гетеродинного пучков (совпадение формы фронтов и направления распространения), т.е. пространственного расположения их волновых фронтов.

Эти условия выполняются при более высоких требованиях к характеристикам источника когерентного света и фотоприемного устройства. Хорошие результаты обеспечивают гелий-неоновые лазеры и фотоэлектронные умножители (ФЭУ).

Известны несколько способов формирования гетеродинного поля с указанными свойствами [3]. Однако эти способы не допускают электронную регулировку пространственного положения гетеродинного поля, что необходимо для решения задачи последовательного частотного анализа диапазона радиочастот.

Управление пространственным положением гетеродинного поля обсуждается в работе [4]. Здесь для коллинеарного сканирования гетеродинного поля используется дополнительный АОМ. В этих условиях спектр обрабатываемого сигнала переносится в другую частотную область.

Акустооптическое устройство последовательного частотного анализа с сохранением частоты обрабатываемого сигнала обсуждается в работе [5], где для формирования пространственно сканируемого гетеродинного пучка используются два АОМ.

Способ коллинеарного сканирования гетеродинного поля с сохранением частоты обрабатываемого сигнала, который обеспечивается с помощью одного АОМ, обсуждается в работе [3]. В этом случае (рис. 2) лазерное излучение направляют в апертуру АОМ под углом Брэгга. Дифракционный порядок после АОМ вновь направляют в его апертуру с помощью поворотных призм. Акустооптические взаимодействия в АОМ происходят под углами Брэгга с противоположными знаками. В результате, обусловленные эффектом Доплера, изменения частоты света в дифракционных порядках оказываются равными по величине и противоположными по знаку. Поэтому они взаимно компенсируются и изменение частоты управляемого напряжением генератора (ГУН) приводит лишь к коллинеарному смещению гетеродинного пучка света.

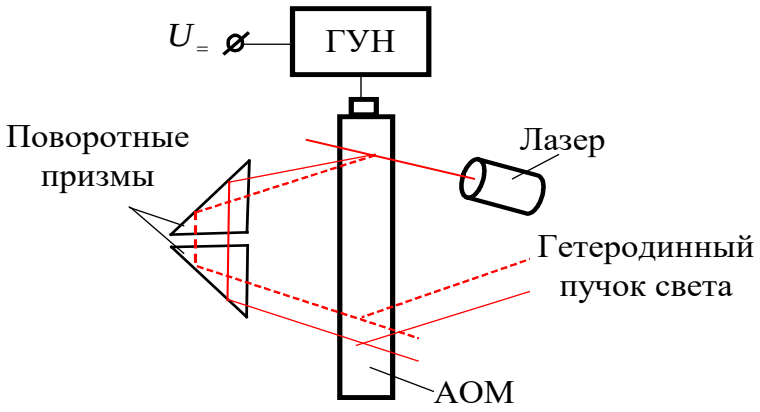


Рис.2. К пояснению способа коллинеарного сканирования гетеродинного поля

Именно этот способ заложен в основу синтеза акустооптического устройства последовательного частотного анализа.

На основе свойств акустооптического эффекта построена электронно-управляемая селективная система с постоянными параметрами на различных радиочастотах (рис.3), позволяющая выделять любой радиосигнал в диапазоне неопределенности. Система содержит лазер, полупрозрачное 1 и непрозрачное 2 зеркала, первый широкополосный усилитель (ШПУ1), основной АОМ1, ФЭУ, ШПУ2 и, расположенные вне оптической оси основного АОМ1, поворотные призмы и формирующий гетеродинный пучок света вспомогательный АОМ2, электрический вход которого соединяется с выходом ГУН.

Акустооптическая система последовательного мониторинга радиоизлучений работает следующим образом: излучение лазера расщепляется при помощи полупрозрачного 1 и непрозрачного 2 зеркал на два пучка, которые падают в апертуру АОМ1 и АОМ2 соответственно, под углом Брэгга θ_{B0}:

$$\sin\theta_{B0} = 0{,}5\,\lambda/\Lambda_0\ ,$$

где λ - длина волны лазерного излучения; $\Lambda_0 = \upsilon/F_0$ - длина УВ; $F_0 = (F_{\min} + F_{\max})/2$; $F_{\min} \div F_{\max}$ - заданный диапазон неопределенности; υ - скорость распространения УВ в АОМ.

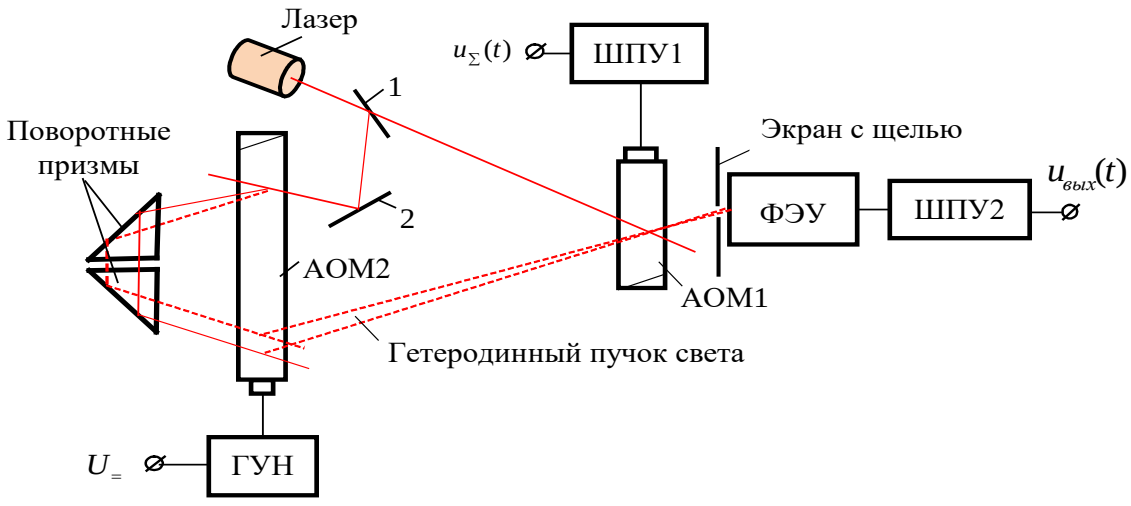


Рис. 3. Структурно-электрическая схема системы последовательного частотного анализа

Падающие световые пучки дифрагируют на неоднородностях коэффициента преломления и образуют дифракционные порядки в задних фокальных плоскостях АОМ1 и АОМ2.

Появляющийся после АОМ1 дифракционный порядок используется в качестве сигнального пучка. Отклоненный свет после АОМ2 вновь направляют в его апертуру с помощью поворотных призм. Вследствие этого появляется дифракционный порядок, который используют в качестве гетеродинного пучка и, также, направляют на светочувствительную поверхность ФЭУ. Результат оптического гетеродинирования выделяется ШПУ2.

Изменение пространственного положения гетеродинного пучка света осуществляется изменением частоты ГУН. Причем частота гетеродинного пучка равна частоте лазерного излучения. Это обеспечивается тем, что после первого взаимодействия с УВ в АОМ2, световое поле получает отрицательное приращение частоты, а после второго – положительное, равное частоте колебания ГУН. Вместе с тем изменение частоты колебания ГУН сопровождается изменением условий оптического гетеродинирования. При выбранной геометрии взаимодействия, сигнальное поле формируется вследствие дифракции света на УВ, возбуждаемой в АОМ 1 радиосигналом с частотой равной частоте колебания ГУН. Другими словами, частота настройки, предложенной акустооптической системы мониторинга, определяется частотой настройки ГУН.

В реальных условиях на электрический вход ШПУ1 поступает имеющийся в диапазоне неопределенности $F_{\min} \div F_{\max}$ суммарный радиосигнал $u_{\Sigma}(t) = \sum_{n=1}^{N} u_n(t)$. При этом, из указанной суммы только n-й радиосигнал, с частотой равной частоте колебания ГУН, приводит к образованию в задней фокальной плоскости АОМ1 дифракционного порядка, коллинеарного с гетеродинным пучком света. В результате оптического гетеродинирования на выходе ШПУ2 формируется n-й радиосигнал:

$$u_{вых.n}(t) = c \cdot u_n(t),$$

где *c*-постоянный множитель.

В контексте решаемой задачи наибольший интерес представляют два параметра акустооптической системы последовательного частотного анализа: диапазон рабочих частот и полоса пропускания. Диапазон рабочих частот ограничивается резонансным углом Брэгга, а полоса пропускания – особенностями оптического гетеродинирования.

Диапазон рабочих частот акустооптической системы мониторинга радиоизлучений можно определить по данным работы [5], где показано, что при прямоугольном распределении амплитуды УВ в направлении распространения светового потока ширина полосы пропускания (по уровню половинной интенсивности света) модулятора, работающего в режиме дифракции Брэгга, определяется соотношением:

$$2 \cdot \Delta F_{\max} = 1{,}8 n_0 \upsilon^2 / (F_0 \lambda L), \quad (5)$$

где n_0 - коэффициент преломления невозмущенной среды взаимодействия; L - длина акустооптического взаимодействия.

Из (5) следует, что ограничения, накладываемые на акустооптическое взаимодействие особенностями дифракции Брэгга, играют более существенную роль в акустооптических процессорах с высокой рабочей частотой F_0 и (или) большой длиной области взаимодействия L.

Ограниченная особенностями оптического гетеродинирования полоса пропускания $П$ акустооптической системы мониторинга радиоизлучений может быть определена по формуле для полосы пропускания акустооптических процессоров гетеродинного типа [5]:

$$П \approx 2{,}8 \cdot \upsilon / (\pi \ d), \quad (6)$$

где d - диаметр гетеродинируемых пучков.

Из формулы (6) следует, что полоса пропускания акустооптической системы мониторинга радиоизлучений не зависит от частоты ее настройки, т.е. это устройство имеет неоспоримое преимущество перед его электронными аналогами.

Следует отметить, что использование эффекта оптического гетеродинирования позволяет повысить чувствительность системы мониторинга на несколько порядков по отношению к прототипам с прямым детектированием [6].

Выводы

Формирование гетеродинного пучка с помощью одного АОМ и поворотных призм значительно упрощает систему мониторинга. Вместе с тем сохраняется стабильность частотных характеристик устройства в процессе его перестройки в диапазоне неопределенности. Это обеспечивается тем, что полоса пропускания акустооптического процессора гетеродинного типа не зависит от частоты его настройки. Примечательной особенностью предложенной системы является то, что на ее выходе формируется радиосигнал с частотой равной частоте сигнала на входе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Цветнов В.В., Демин В.П., Куприянов А.И.* Радиоэлектронная борьба: радиоразведка и радиопротиводействие. –М.: Изд-во МАИ, 1998.- 248с.:ил.

2. *Протопопов В.В, Устинов Н.Д.* Лазерное гетеродинирование. М.: Наука, Главная редакция физико-математич. литературы, 1985, 288 с.

3. *Гасанов Р.А*. Формирование гетеродинного поля в АОЛЗ. Материалы 21-й МНТК «Современные телевидение и радиоэлектроника», Москва, 2013, с.210-213.

4. *Гасанов Р.А., Эйнуллаев В.С., Рустамов А.Р.* Перестраиваемый акустооптический полосовой фильтр // Альтернативная энергетика и экология, 2009, №11, с. 90-92.

5. *Пашаев А.М., Гасанов Р.А.* Акустооптическая система мониторинга радиоизлучений // Специальная техника, 2010, №2, с.28-31.

6. *Ярив А.* Введение в оптическую электронику. М.: Высшая школа, 1983, 363с.

ACOUSTOPTIC SYSTEM OF SERIAL MONITORING OF RADIO FREQUENCY RANGE

Hasanov R., Huseyn-zada B.E., Aliyeva I.

ruslan-icq@mail.ru

(National Aviation Academy, Baku)

The method of sequential frequency analysis of radio radiations in a given range of uncertainty, which is implemented based on the features of the acoustooptic effect and optical heterodyning, is discussed. The structural-electrical circuit of the acousto-optic system of sequential frequency analysis is synthesized and the dependence of its output response on the input action is established. The high potentialities of the proposed method are justified in the context of the accuracy of determining the parameters of unknown radio radiations, which is ensured by the constancy of the amplitude-frequency characteristic of an acoustooptic processor of a heterodyne type.

УДК 681.7.064.453

СЕЛЕКТИВНОЕ ОТРАЖАЮЩЕЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ КОМБИНЕРА НАШЛЕМНОЙ СИСТЕМЫ ИНДИКАЦИИ

Гильфанов А.Р., Гуськов И. А., Новиков А.Г

gipo@telebit.ru

(АО «НПО Государственный институт прикладной оптики», г. Казань)

В данной работе рассматривается разработанное в НПО ГИПО селективное отражающее покрытие для комбинера нашлемной системы индикации (НСИ), методы его получения, спектральные и технические характеристики.

В настоящий момент НСИ являются неотъемлемой частью интегрированных систем целеуказания, наведения оружия, в том числе с автоматическими режимами запуска в различных сложных полетных условиях. Сейчас такие системы серийно выпускаются рядом зарубежных производителей, таких как Thales (USA), VSI (USA), BAE Systems (UK).

Таким образом, разработка современной эргономичной НСИ, которая обеспечивала бы пилоту комфортное считывание информации, необходимой для обеспечения полета, навигации, наведения оружия, на уровне, не уступающем современным зарубежным системам, является актуальной задачей [1].

НСИ формирует в поле зрения пилота изображение, которое рассматривается им одновременно с окружающей обстановкой. Совмещение изображений осуществляется за счет частично отражающего и частично пропускающего элемента - комбинера, на который нанесено селективное покрытие (рис.1).

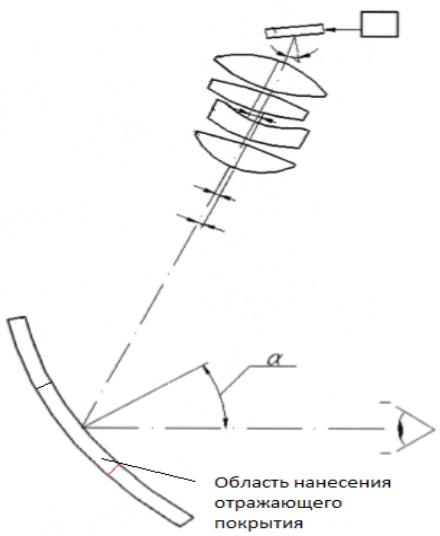


Рис. 1. Оптическая схема НСИ с комбинером

Для решения данной задачи при проектировании НСИ, необходимо было разработать селективное отражающее покрытие на полимерный комбинер с асферическими поверхностями.

Исходя из требований к комбинеру (цельность, прочность, малый вес, оптические свойства), он был изготовлен методом литьевого прессования из оптического полимера. Главным преимуществом литьевого прессования является возможность производить изделие со стабильными размерами и относительно малыми остаточными напряжениями [1].

Оптические параметры комбинера НСИ должны обеспечивать одновременное отображение внутрикабинной индикации, имеющей светодиодную подсветку, и хороший обзор окружающей воздушной обстановки. С этой целью было разработано селективное интерференционное покрытие, коэффициент отражения которого в области максимального излучения используемого светодиода составляет не менее 80%, а интегральный коэффициент пропускания в видимом спектральном диапазоне не менее 75%.

В качестве пленкообразующих материалов для селективного отражающего покрытия были выбраны оксид циркония ZrO_2 в качестве материала с высоким показателем преломления и диоксид кремния SiO_2 в качестве материала с низким показателем преломления. Данная пара находит широкое применение при создании отражающих покрытий для видимого спектрального диапазона благодаря высокой механической прочности (нулевая, высшая группа по ОСТ 3-1901), достаточной разности показателей преломления (n_{ZrO2} = 1.98, n_{SiO2} = 1.44 при λ=500 нм), согласованности по внутренним напряжениям. Пленкам SiO_2 свойственны внутренние напряжения сжатия (σ_0), равные 250 –

300 кГ/см^2. При напуске в вакуумную камеру воздуха значения σ_0 возрастают и достигают 1000-2000 кГ/см^2, что по данным [2], обусловлено хемосорбцией паров воды и кислорода пленкой со связыванием нескомпенсированных связей и сорбцией в порах пленки. Связывание нескомпенсированных связей приводит к росту напряжений сжатия за счет фиксированности объема материала пленки, а сорбция воды в порах увеличивает напряжения сжатия за счет фиксированности объема образованных ранее пор [3]. С пленками ZrO_2 ситуация иная: им свойственны внутренние напряжения растяжения, значения которых достигают 2000-4000 кГ/см^2 [4].

Расчеты показали, что обычное отражающее покрытие, состоящее из чередующихся четвертьволновых слоев ZrO_2 и SiO_2, не позволяет достичь требуемого значения интегрального пропускания вследствие чрезмерной спектральной ширины, обусловленной разницей показателей преломления. Конструкция такого покрытия может быть записана в виде

$$П(ВН)^n, \qquad (1)$$

где П – подложка, В – слой с высоким показателем преломления (n_{ZrO2} = 1.98), оптическая толщина которого равна $\lambda_0/4$, Н – слой с низким показателем преломления (n_{SiO2} = 1.44), оптическая толщина которого равна $\lambda_0/4$, n – количество чередований пар слоев ZrO_2 и SiO_2, λ_0 – рабочая длина волны (λ_0 равна длине волны максимального отражения и для данной системы соответствует длине волны наибольшего излучения светодиода подсветки).

Для сужения спектрального диапазона высокого отражения и повышения пропускания вне этого диапазона была разработана конструкция отражающего покрытия, в основе которого лежит чередование четвертьволнового слоя ZrO_2 и k четвертьволновых слоев SiO_2:

$$П\ (В\ kH)^n\ 2В\ Н, \qquad (2)$$

На рисунке 2 показаны спектральные характеристики пропускания отражающих покрытий конструкций (1) и (2).

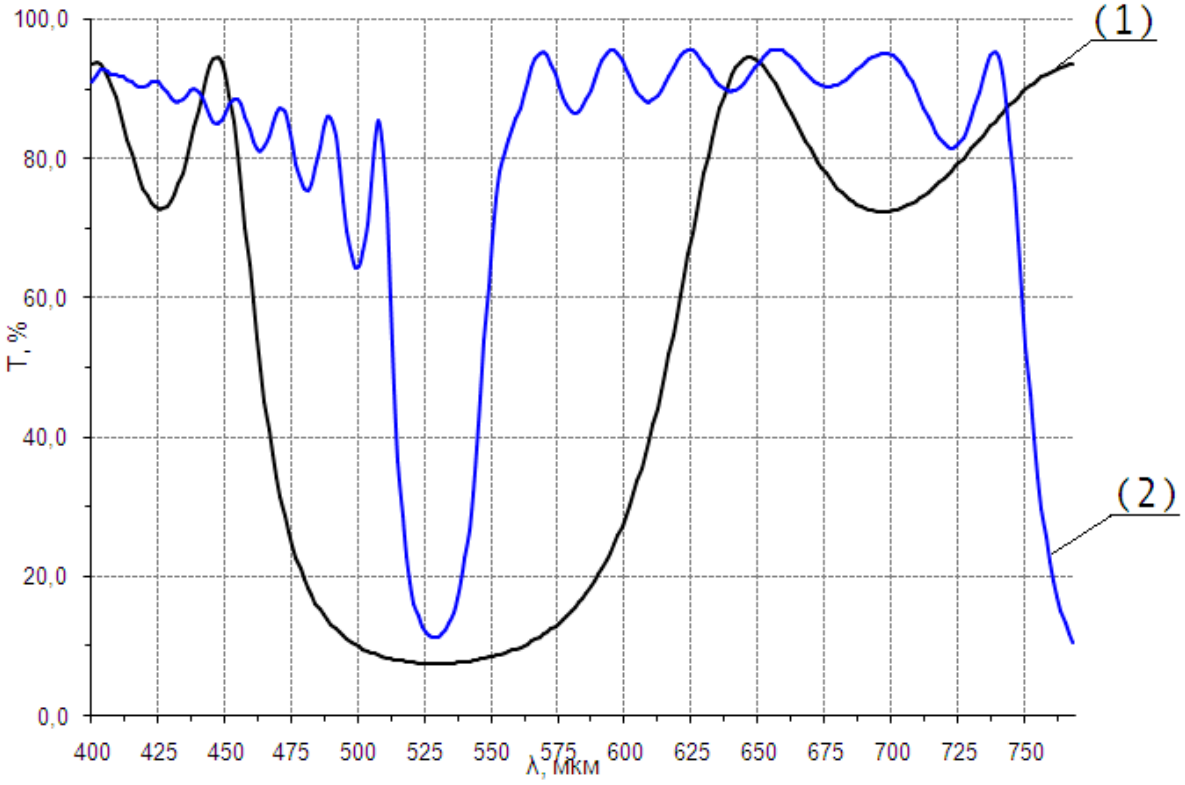


Рис. 2. Расчетные спектральные характеристики пропускания отражающих покрытий (1) и (2)

При разработке техпроцесса нанесения отражающего покрытия конструкции (2) было

учтено, что полимерный комбинер не допускает большого нагрева при нанесении слоев методом напыления в вакууме. Поэтому для повышения активации поверхности комбинера, обеспечивающей необходимую адгезию слоев покрытия к подложке, использовалась бомбардировка поверхности комбинера ионами инертного газа аргона особой чистоты (99,99%). С этой целью нами использовался низкоэнергетический ионный источник АИДА-4МА. Экспериментально были определены оптимальные режимы работы ионного источника, обеспечивающие необходимую адгезию покрытия.

Нанесение разработанного селективного отражающего покрытия проводилось на вакуумной установке ВУ-2М методомэлектронно- лучевого испарения.

Толщина слоев контролируется спектрофотометром СФКТ – 751 В с приставкой по пропусканию с использованием красного стекла КС-15 для отсекания низших порядков. Контрольная длинна волны $\lambda_к$=800 нм.

Через 1-2 часов после нанесения покрытия в камеру напускается воздух и извлекаются детали. Экспериментально было установлено, что наибольшую механическую прочность покрытие набирает после 24 часов пребывания на воздухе. Измеренная на спектрофотометре Lambda 950 спектральная характеристика пропускания полученного селективного покрытия показана на рисунке 3:

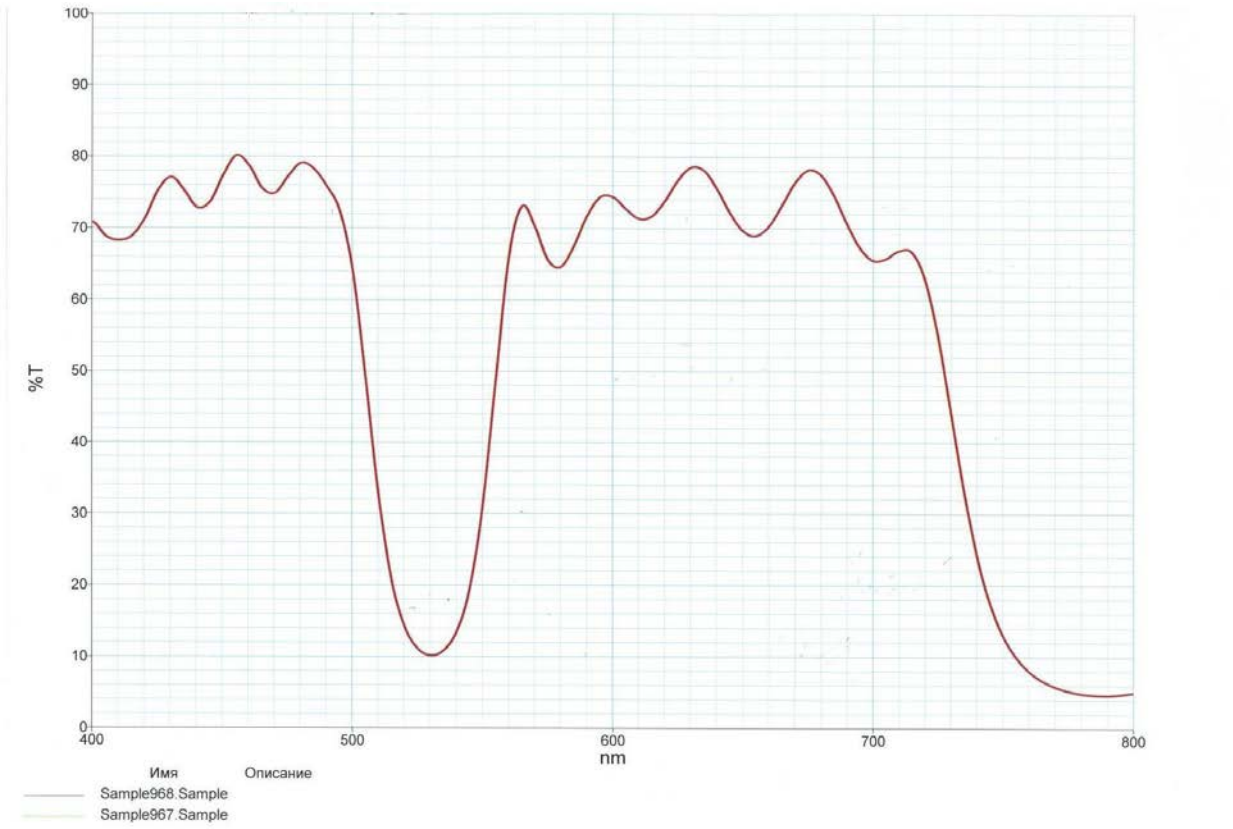


Рис. 3. Спектральная характеристика пропускания изготовленного селективного покрытия

Полученные результаты

В ходе проведенных исследований нами было разработано селективное отражающее покрытие и отработана технология его нанесения на комбинер из оптического полимера. Образцы с данным покрытием успешно прошли все испытания, на данный момент ведется подготовка к серийному производству.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Козлов А.В.* Нашлемная система индикации / А.В. Козлов, И.Г. Денисов, Д.Н. Шарифуллина [Электронный ресурс] // Будущее машиностроения России: материалы

VIBсерос. Конф. Молодых ученых и специалистов.- М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. -1 эл.опт. диск (CD-ROM).

2. *Heitmann W. properties of evaporated SiO_2, SiO_xN_y and TiO_2 films*// Applied Optics, 1971, v.10, №12, p.2685-2689.

3. *Гайнутдинов И.С., Несмелов Е. А., Михайлов А.В., Иванов В.П., Абзалова Г. И.*//Свойства и методы получения интерференционных покрытий для оптического приборостроения. – Казань:Фэн, 2003.-424с.

4. *Аубакиров Р.Г. Исследование и разработка многополосных диэлектрических зеркал и дихроичных элементов для лазеров с преобразованием частоты излучения*// Автореферат дисс. На соискание ученой степени канд. тех. наук. Л, 1986, 25 с.

SELECTIVE REFLECTING COATING FOR A HELMET-MOUNTED DISPLAY COMBINER

Gilfanov A., Guskov I., Novikov A.
gipo@telebit.ru
(JSC "NPO State Institute of Applied Optics" (GIPO), Kazan)

This paper focuses on selective reflecting coating for a helmet-mounted display system combiner developed at GIPO, its manufacturing methods, spectral and technical characteristics.

УДК 62-533.5

СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ МОРСКОГО КОМПЛЕКСИРОВАННОГО НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА ПО УГЛУ МЕСТА

Гилязов А.И.
ainur_gilyazov2705@mail.ru
Научный руководитель: А.И. Карпов, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Приведены результаты синтеза и моделирования системы стабилизации морского комплексированного оптико-электронного прибора по углу места.

Цель работы: разработка конструктивной схемы управляемой платформы, а также синтез законов управления и исследование динамики управления системы стабилизации изображения оптико – электронного прибора базируемого по углу места, на быстроходном катере.

Рассмотрим систему наведения и стабилизации изображения (СНС) ОЭП, находящемся на управляемой корабельной платформе, где размещены ОЭП с тремя каналами наблюдения: телевизионный (ТВП), тепловизионный (ТП) и лазерный дальномер (ЛД). На платформе размещены два чувствительных элемента – датчики угловой скорости (ДУС), измеряющие угловые скорости платформы по осям управления; датчик угла (ДУ) и ротор моментного двигателя(МД) (рис.1). Соосно с осью внешней рамки размещены МД и ДУ по курсу[1].

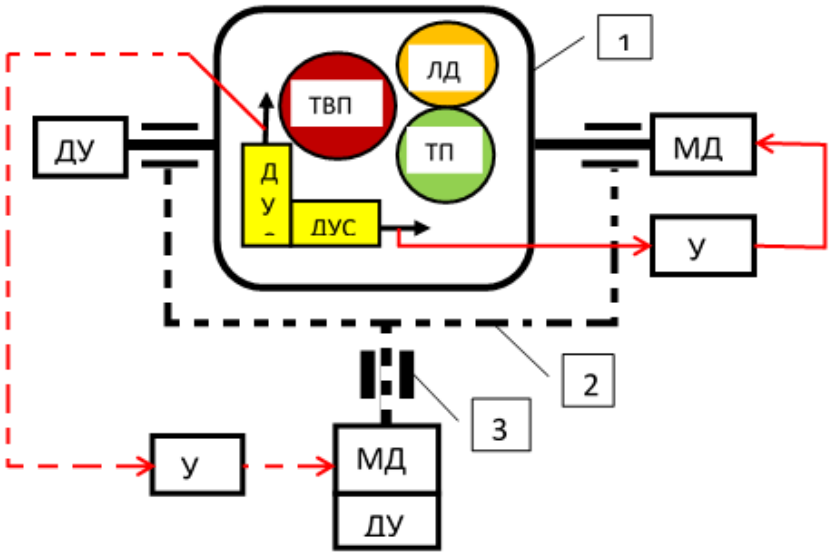


Рис. 1. Функциональная схема СНС ОЭП

Обозначения: 1-ОЭП, управляемая по углу места; 2-внешняя рамка, управляемая по азимуту (курсу), 3-корпус прибора, закрепленный на корабле.

Движение корабля вокруг своего центра масс определяется углами качки: *рысканья* (θ), *дифферента* (ψ), *крена* (γ)

Исходные данные:

1. Относительное отверстие – 1/6,
2. Поле зрения телевизонного канала– 2.5x2.0 град,
3. Фокусное расстояние – 250 мм,
4. Амплитуда и период качки: Ψ_0 =15°, T_0 = 5 с,
5. Скорость движения цели: $\dot{\Psi}_Ц$ = 60 град/с,
6. Амплитуда и частота вибраций: $\Psi_в$ = 2.5' и $f_В$ = 10 Гц,
7. Требуемая погрешность стабилизации оси визирования:Δh_k= 2'.

Габаритный и аберрационный расчет

Для выбора объектива необходимо подобрать приемник излучения, работающий в видимом диапазоне. Поэтому выбираем приемник КМОП фирмы Fuga-22

Объектив выбирается из библиотеки программы «ОПАЛ»

Таблица 1

Радиусы	Толщины	Стекла
134.25	27	ТК14
633.85	1.25	1
99.75	29.5	ТК17
-749.85	7.5	Ф9
62.225	36	1
-70.3	34.5	ФК14
-97.045	1.25	1
1175	18.5	ФК14
-169.05		1

Получены следующие параксиальные характеристики:
F= -249.4613; F´=249.4613; S_F=-165.1542; S_F´=160.7778; sH=84.3072;
sH´=-88.6835; L=317.08; S´=160.57777; V=-249.24817; S_P´=-4.27577.

У данной системы радиус кружка рассеяния ρ = 0.046714 мм = 37.37″. Радиус кружка

рассеяния при действии 80% энергии равна ρ = 0.04113 мм = 32.9″, это видно из точечной диаграммы (см.рис.2).

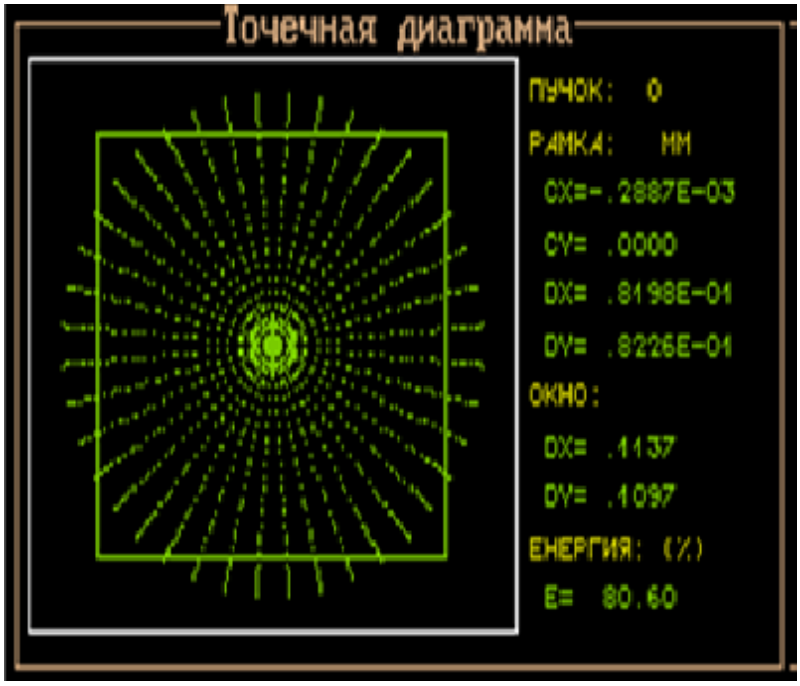


Рис. 2. Точечная диаграмма

Разработка конструктивной схемы управляемой платформы комплексированного ОЭП

С помощью функциональной схемы СНС ЭОП (рис.1) построена модель на программе SolidWorks (см.рис.3).

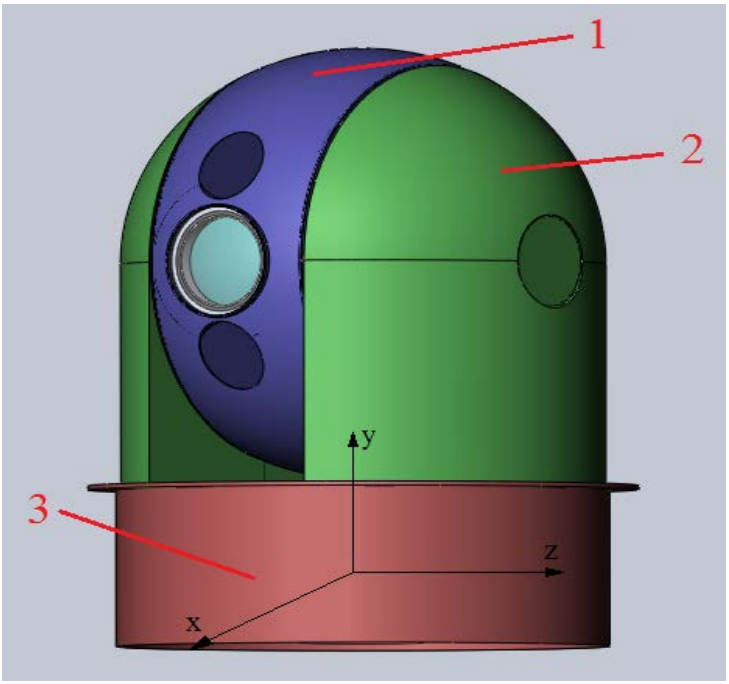


Рис. 3. Общий вид управляемой платформы, где 1-платформа, управляемая по углу места, 2-внешняя рамка, управляемая по азимуту, 3-корпус для закрепления на судне

Расчет системы стабилизации изображения

В результате анализа различных схем стабилизации и исходных данных был выбран,

схема системы наведения и стабилизации изображения морского комплексированного наблюдательного оптико – электронного прибора по углу места, показанный ниже на рисунке 4.

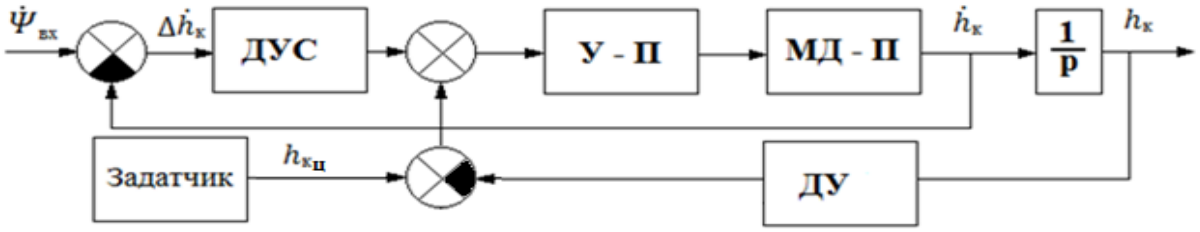


Рис. 4. Схема системы наведения и стабилизации по углу места

Условные обозначения, используемые на схеме

⊗ – Сумматор,

ДУС – датчик угловых скоростей,

У-П – усилитель – преобразователь,

МД-П – моментный двигатель платформы.

ДУ – датчик угла.

Для выбора двигателя необходимо рассчитать мощность и максимальные моменты исходя из полученных массовых и инерциальных характеристик m = 14 кг, $J_н = 0.37$ кг · м^2 и принимая Δl = 1мм [2]:

Момент дисбаланса рассчитывается по формуле:

$$M_{ДБ} = mg\Delta l = 14 * 10 * 0.001 = 0.14 \text{ Нм},$$

Момент трения:

$$M_{ТР} = (2 \dots 5) * 10^{-3} m = 5 * 10^{-3} * 14 = 0.07 \text{ Нм},$$

Момент нагрузки:

$$M_{НАГР} = M_{ТР} + M_{ДБ} = 0.14 + 0.07 = 0.21 \text{ Нм},$$

Требуемый момент двигателя:

$$M^{n}_{дв} \geq 2\left(M_{НАГР} + J_н \ddot{\Psi}_{max}\right),$$

Необходимая мощность двигателя, рассчитывается исходя из уравнения:

$$P = 2M^{n}_{дв} \dot{\Psi}_{max},$$

Для расчета мощности найдем максимальную скорость.

$$\dot{\Psi}_{max} = \dot{\Psi}^{k}_{max} + \dot{\Psi}^{ц}_{max} + \dot{\Psi}^{вб}_{max},$$

$$\dot{\Psi}_{max} = 0.329 + 0.04569 + 1.047 = 1.4218 \text{ рад/с},$$

$$P = 2 * 2.587 * 1.4218 = 7.3564 \text{ Вт}.$$

Из вычисленных ранее значений выбирается двигатель ДБМ 70 - 0,16 - 3 – 3.

Уравнения движения платформы совместно с МД и с учетом вибрационных возмущений, качки корабля и движения объекта наблюдения (ОН).

$$(J_П + J_{ДВ})(\ddot{\Psi} - \ddot{h}_к) = M_В - M_{ДВ}, \quad (1)$$

$$J_0(\ddot{\Psi} - \ddot{h}_к) - M_В = -C_М i, \quad (2)$$

где $(J_П + J_{ДВ}) = J_0$, Ψ – угол качки, $h_к$ – угол поворота платформы по углу места (высоте), $M_в$ - момент нагрузки, $C_М$-коэффициент моментов, $J_{дв}$-момент инерции двигателя, $J_П$-момент инерции платформы относительно вращения оси, J_0-момент инерции.

Запишем уравнение управляющего напряжения:

$$U = Ri + L\frac{di}{dt} + C_Е h_к,$$

где $C_Е$-коэффициент противо-ЭДС, U-управляющее напряжение, R-сопротивление фазы.

После преобразования:

$(T_M T_Э p^3 + T_M p^2 + 1)\, h_k = \frac{1}{C_E} U + T_M (T_Э p + 1) p^2 \Psi - \frac{R}{C_M C_E}(T_Э p + 1)$,

$$h_k = \frac{K_П}{T_Э T_M p^2 + T_M p + 1} U + \frac{(T_Э p + 1) T_M p}{T_Э T_M p^2 + T_M p + 1} \Psi - \frac{K_M (T_Э p + 1)}{T_Э T_M p^2 + T_M p + 1} M_В, \quad (3)$$

$h_k = W_П(p)U + W_К(p)\,\Psi - W_В(p)\,M_В$

$U = W_Г(p) W_У(p) \Delta h_k$, $\Delta h_k = \Psi_{вх} - h_к$, $\Psi_{вх} = \Psi + \Psi_ц + \Psi_в$.

Коэффициенты усиления и постоянные времени.

$T_M = \frac{J_Н R}{C_M C_E} = \frac{0.37 * 1.1}{0.066 * 6.3} = 0.979$ с. $T_Э = \frac{L}{R} = 0.23$ мс,

$L = T_Э R = 0.253$ мГн, $K_M = \frac{R}{C_M C_E} = \frac{1.1}{0.066 * 6.3} = 2.645 \frac{В^2 \cdot с}{рад}$,

$K_П = \frac{1}{C_E} = 0.159$ рад/с · В,

Построение структурной схемы с указанием передаточных функции звеньев.

В соответствии с уравнением (1) – (3) получим уравнение:

$$W(p) = W_У(p)\, W_П(p)\, (W_Г(p) + W_Д(p))\frac{1}{p}, \quad (4)$$

Из уравнения (4) видно, что $W_г(p) + W_д(p) = \frac{K_г p}{(T_г p + 1)} + \frac{K_д}{(T_д p + 1)}$, так как частоты ДУСа и ДУ очень большие по сравнению с $\omega_{ср}$, то ими можем пренебречь и можем записать в виде:

$$K_г p + K_д = K_д \left(\frac{K_г}{K_д} p + 1 \right) = K_д (T_1 p + 1) = W_1(p).$$

Структурная схема примет вид:

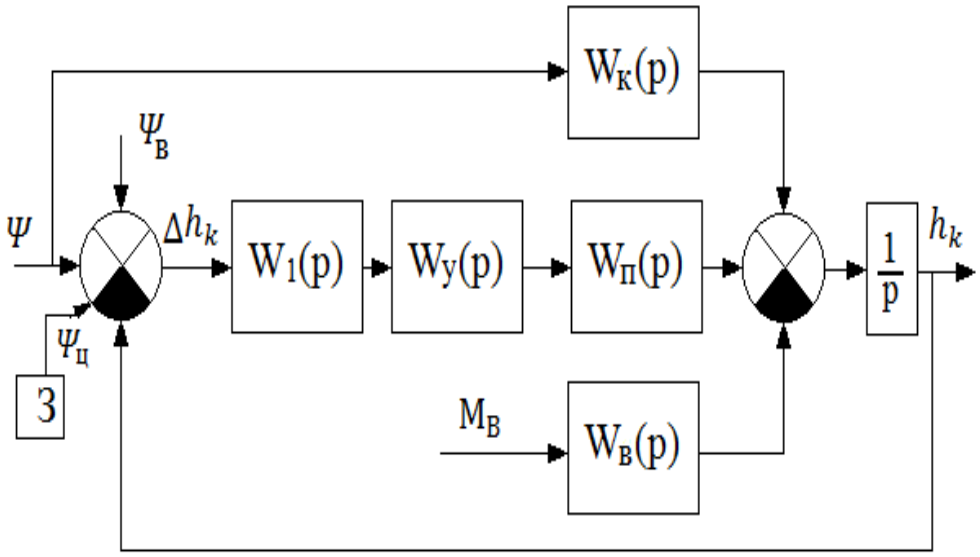


Рис. 5. Структурная схема СС ОЭП по углу места

$\Delta h_k = \Psi - h_k$,

$h_k = W(p)(\Psi_{вх} - h_k) - W_В(p) M_В + W_К(p)\,\Psi$,

$h_k\,(1 + W(p)) = W(p)\,\Psi_{вх} - W_В(p) M_В + W_К(p)\,\Psi$

$$h_k = \frac{W(p)}{1 + W(p)} \Psi_{вх} + \frac{W_К(p)}{1 + W(p)} \Psi - \frac{W_В(p)}{1 + W(p)} M_В,$$

$$\Delta h_k = \frac{1}{1 + W(p)}(\Psi + \Psi_ц + \Psi_в) - \frac{W_К(p)}{1 + W(p)} h_k + \frac{W_В(p)}{1 + W(p)} M_В,$$

$$h_k = \frac{W(p) + W_К(p)}{1 + W(p)} \Psi + \frac{W(p)}{1 + W(p)}(\Psi_ц + \Psi_в) - \frac{W_В(p)}{1 + W(p)} M_В,$$

$$\Delta h_k = \frac{1-W_к(p)}{1+W(p)} h_k + \frac{1}{1+W(p)}(\Psi_ц + \Psi_в) + \frac{W_в(p)}{1+W(p)} M_В,$$

$$\Psi_{сум} = \Psi_ц + \Psi_в$$

где $W_{h_k}^{\Psi} = \frac{W(p)+W_к(p)}{1+W(p)} \Psi$, $W_{h_k}^{\Psi сум} = \frac{W(p)}{1+W(p)} \Psi_{сум}$, $W_{h_k}^{M_В} = \frac{W_в(p)}{1+W(p)} M_В$,

$$\Delta h_k = \frac{1-W_к(p)}{1+W(p)} \Psi + \frac{1}{1+W(p)} \Psi_{сум} + \frac{W_в(p)}{1+W(p)} M_В ,$$

$$W_{\Delta h_k}^{\Psi} = \frac{1-W_к(p)}{1+W(p)} h_k , W_{\Delta h_k}^{\Psi сум} = \frac{1}{1+W(p)} \Psi_{сум} , W_{\Delta h_k}^{M_В} = \frac{W_в(p)}{1+W(p)} M_В;$$

Приведем схему показанный на рисунке 5 к виду:

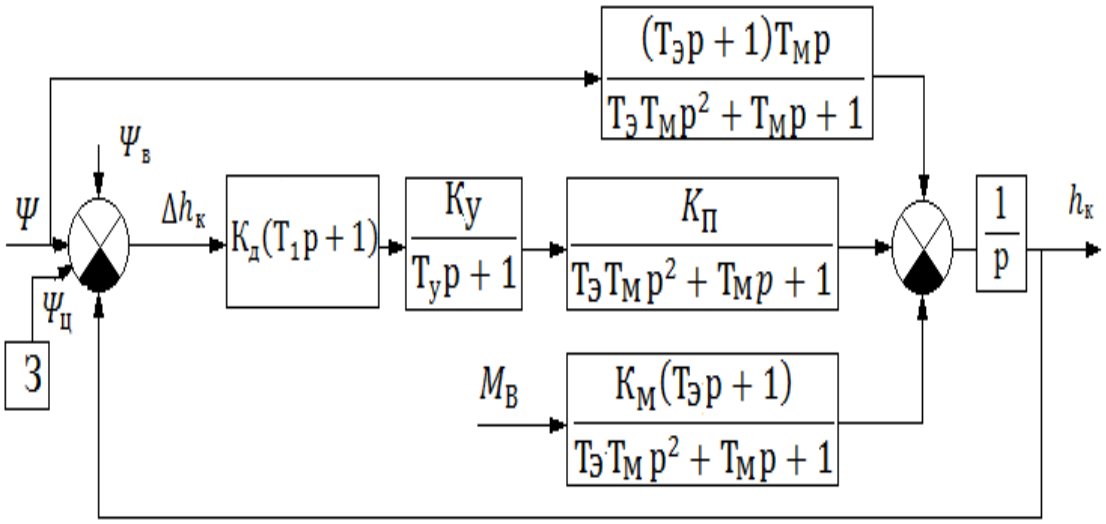


Рис. 6. Структурная схема САУ после преобразования

Для анализа устойчивости и качества регулирования частотным методом, построены ЛАХ и ЛФХ в программе MathLab.

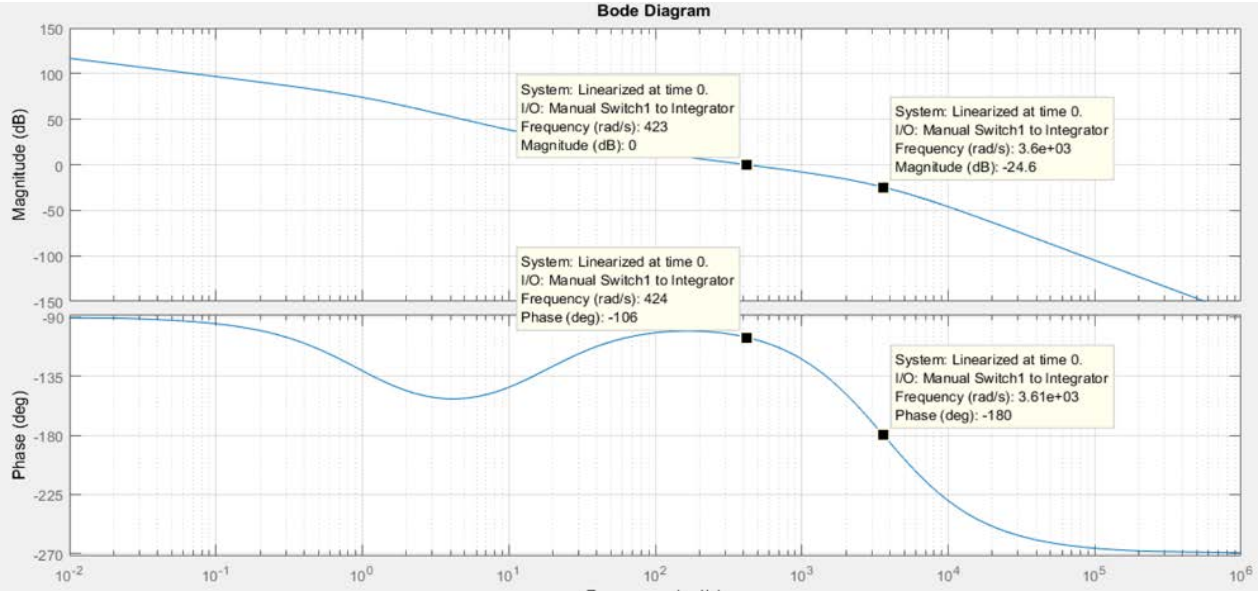


Рис. 7. ЛАХ и ЛФХ разомкнутой системы

Из графика ЛАХ и ЛФХ разомкнутой системы (рис.7) видно, что система устойчива и запас по амплитуде равна 24.6 ДБ, по фазе 74 град, что является нормальным запасом и удовлетворяет условию.

Схему моделирования в соответствии полученных численных значений коэффициентов и времен показан на рисунке 8.

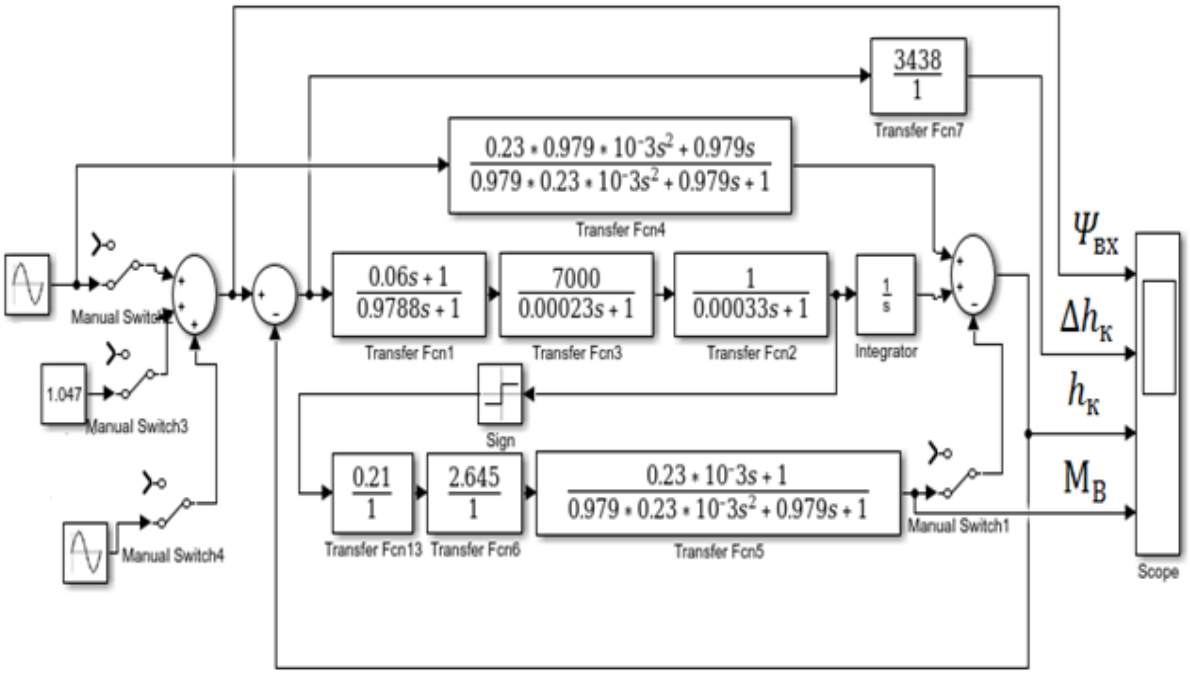


Рис. 8. Схема моделирования

В результате моделирования были получены переходные характеристики при воздействии: качки, вибрации, наведения, момента нагрузки. (см.рис.9).

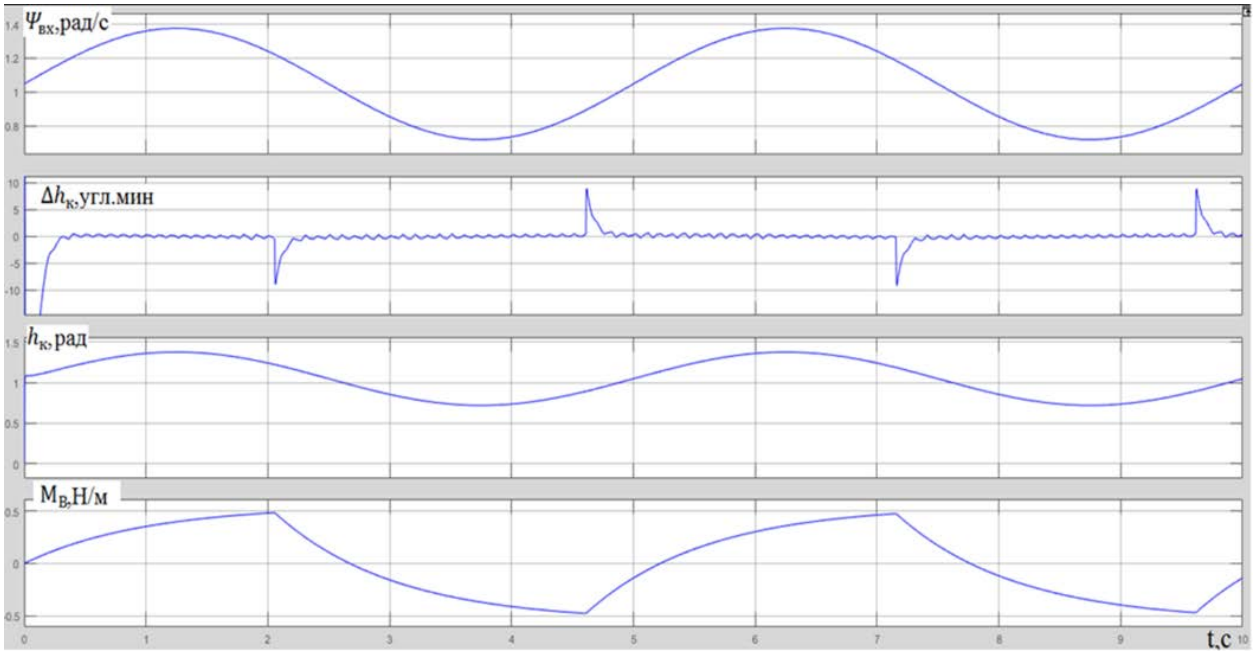


Рис. 9. Переходная характеристика при качке, вибрации, наведения, момента нагрузки

Заключение

В данной работе было произведено синтез и исследование динамики системы стабилизации изображения морского комплексированного наблюдательного оптико-электронного прибора по углу места. Требуемая погрешность стабилизации оси визирования

1. Произведен габаритный и аберрационный расчет.

2. Разработан конструктивная 3D модель в программе SolidWorks.
3. Рассчитана требуемая мощность и момент двигателя. Из полученных значений выбран двигатель ДБМ 70 - 0,16 - 3 – 3.
4. Произведен синтез системы оси визирования по углу места.
5. Составлена модель в программе MathLab, в результате исследования динамики стабилизации получено следующее:

1. Система автоматического регулирования (САУ) устойчива.
2. Имеет следующие динамические погрешности от действия:

- Качки: $\Delta h_{k} = 0.2'$,
- Вибрации: $\Delta h_{k_{в}} = 0.6'$,
- Наведение: $\Delta h_{k_{н}} = 0.25'$,
- Момента нагрузки: $\Delta h_{k_{M_{в}}} = 0.45'$,

3. Время переходного процесса: $\tau = 0.3$ с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Карпов А.И., Кренев В.А.* Стабилизация изображения бортового ОЭП на базе волоконно -оптических гироскопов. Материалы конференции ПРЭФЖС-2017. Казань 2017.
2. *Бабаев А.А.* Стабилизация оптических приборов, Л. Маш.1975.–192 с.
3. *Воронов А. А.*, Основы теории автоматического управления, Москва: Энергия, 1980. – 312 с.
4. *Пешехонов В.Г., Гунтер И.Е., Зинченко В.М.* и др. Перископный комплекс «Парус-98». Гироскопия и навигация - №1 (48). 2005. с.5-15
5. *Бесекерский В.*, Динамический синтез систем гироскопической стабилизации В. А. Бесекерский, Е. А. Фабрикант «Судостроение», 1968 г.
6. *Павлычева Н.К.* Прикладная оптика-Казань. Издательство КГТУ, 2011.
7. *Солодовников В. В.*, Теория автоматического регулирования «Машиностроение», Т. 1,2, 1967 г.; Т. 3, 1968 г.-608 с.
8. *Бесекерский В. А.,* Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления. Бесекерский В. А., Герасимов А. Н., Лучко С. В., Небылов А. В., издание пятое, переработанное, из издательство «Наука», Москва, 1978 г.-512 с.

IMAGE STABILIZATION SYSTEM FOR MARINE COMPLEX OBSERVATIONAL OPTICAL-ELECTRONIC INSTRUMENT ON ANGLE OF THE PLACE

Gilyazov A.
ainur_gilyazov2705@mail.ru
Scientific adviser: A. Karpov, Candidate of Technical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The results of the synthesis and simulation of the stabilization system of a naval integrated optical-electronic device by elevation are presented.

УДК 62-533.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ СВЕТОПРОПУСКАНИЯ И СВЕТОРАССЕЯНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Дадакин В.А.
vladislav.dadakin@yandex.ru
Научный руководитель: Н.К. Павлычева, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Приведены результаты исследования возможности повышения точности измерения коэффициентов светопропускания и светорассеяния оптических систем.

Цель работы: исследовать возможность повышения точности измерения коэффициентов светопропускания и светорассеяния оптических систем.

Работа выполнялась на установках ОПП-153 (рис.1) и ОПП-102 (рис.2) для измерения коэффициентов светопропускания и светорассеяния.

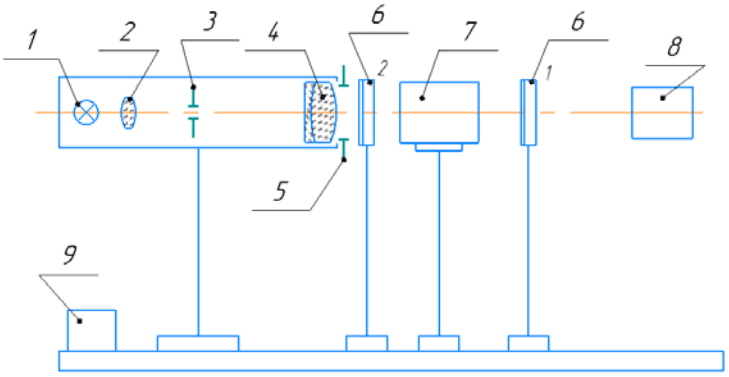


Рис. 1. Схема установки ОПП-153: 1 - источник света, 2 - конденсор, 3 - диафрагма, 4 - объектив коллиматора, 5 - ирисовая диафрагма, 6 - фотоприёмник, 7 – исследуемая оптическая система, 8 - регистрирующее устройство, 9 - источник питания

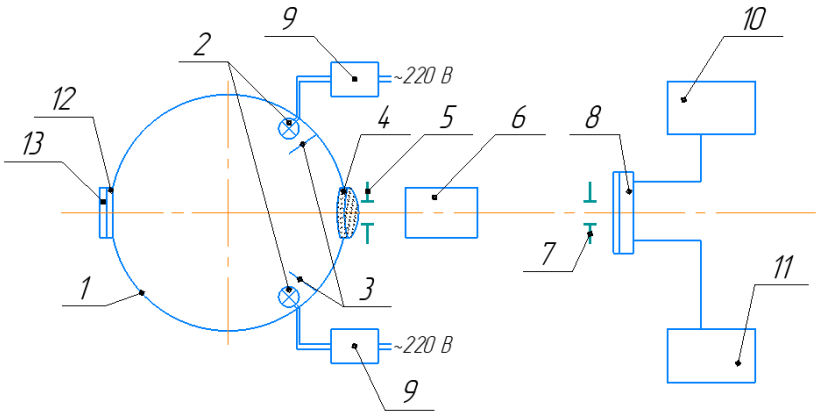


Рис. 2. Схема установки ОПП-102: 1 – фотометрический шар, 2 – лампы накаливания, 3 – заслонки, 4 – коллиматорный объектив, 5 – ирисовая диафрагма, 6 - исследуемая оптическая система, 7 – диафрагма, 8 – фотоприёмник, 9 – трансформатор, 10 – отсчётное устройство, 11 – блок питания фотоприёмника, 12 – имитатор чёрного предмета, 13 – шаровой сегмент

Проверка линейности связи между отсчётами мультиметра и световыми потоками, падающими на поверхность фотоприёмника при помощи нейтральных стёкол из предоставленного набора

Проверка проводилась на установке ОПП-153. Набор состоял из 16 нейтральных светофильтров. Диаметр ирисовой диафрагмы равен диаметру самого наименьшего

светофильтра из набора, а именно 24 мм.

Получены следующие результаты:

Без нейтральных светофильтров

N_0 = 0 мкА

N_1 =	-13,032	$\Delta_i^{вер.}$=	0,008
	-13,033		0,007
	-13,041		-0,001
	-13,049		-0,009
	-13,046		-0,006
	-13,037		0,003
$N_1^{ср}$ =	-13,040 мкА	$\Delta_i^{вер.ср}$=	0,0003 мкА

Среднеквадратическая погрешность:

σ’ = 0,0069 мкА,

Значение $N_1^{ср}$ с учётом вероятной погрешности:

$$N'^{ср}_1 = -13{,}040 + 0{,}0003 = -13{,}0397 \text{ мкА.}$$

Образец 004548

N_2 =	-0,943	$\Delta_i^{вер.}$=	-0,001
	-0,941		0,001
	-0,944		-0,002
	-0,945		-0,003
	-0,942		0
	-0,939		0,003
$N_2^{ср}$ =	-0,942 мкА	$\Delta_i^{вер.ср}$=	-0,0003 мкА

Среднеквадратическая погрешность:

σ’ = 0,0000048 мкА,

Значение $N_2^{ср}$ с учётом вероятной погрешности:

$$N'^{ср}_2 = -0{,}942 - 0{,}0003 = -0{,}9423 \text{ мкА,}$$

Коэффициент светопропускания:

$$\tau = \frac{(N_2^{ср} - N_0^{ср}) + \Delta_2}{(N_1^{ср} - N_0^{ср}) + \Delta_1} * 100\ \%, \quad (1)$$

где Δ_1 и Δ_2 – поправки для имеющейся системы «приёмник излучения - измерительный прибор» для величин $N_1^{ср}$ и $N_2^{ср}$.

$$\tau = \frac{-0{,}9423}{-13{,}0397} * 100 = 7{,}2\ \%,$$

Таким же образом выполнил проверку для остальных образцов.

По полученным данным построил график зависимости показаний измерительного прибора от коэффициентов пропускания. Для проверки необходимости ввода поправок определил для каждого образца процент отклонения по формуле

$$\frac{\Delta_i}{N_ж} * 100\ \%, \quad (2)$$

где $\Delta_i = N_ж - N_i$, $N_ж$- желаемое значение отсчёта измерительного прибора.

1) $\frac{-0{,}9423+0{,}935}{-0{,}935} * 100 = 0{,}78\ \%$ 2) $\frac{-6{,}792+6{,}7887}{-6{,}792} * 100 = 0{,}05\ \%$ 3) $\frac{-1{,}885+1{,}8705}{-1{,}885} * 100 = 0{,}77\ \%$

4) $\frac{-3{,}9525+3{,}948}{-3{,}948} * 100 = 0{,}11\ \%$ 5) $\frac{-2{,}677+2{,}6755}{-2{,}677} * 100 = 0{,}06\ \%$ 6) $\frac{-9{,}472+9{,}4642}{-9{,}472} * 100 = 0{,}08\ \%$

7) $\frac{-11{,}585+11{,}5598}{-11{,}585} * 100 = 0{,}22\ \%$ 8) $\frac{-4{,}551+4{,}5308}{-4{,}551} * 100 = 0{,}44\ \%$ 9) $\frac{-5{,}774+5{,}7682}{-5{,}774} * 100 = 0{,}10\ \%$

10) $\frac{-0{,}583+0{,}5802}{-0{,}583} * 100 = 0{,}48\ \%$ 11) $\frac{-7{,}024+7{,}0125}{-7{,}024} * 100 = 0{,}16\ \%$ 12) $\frac{-8{,}361+8{,}3557}{-8{,}361} * 100 = 0{,}06\ \%$

13) $\frac{-5{,}198+5{,}1863}{-5{,}198} * 100 = 0{,}23\ \%$ 14) $\frac{-1{,}356+1{,}352}{-1{,}352} * 100 = 0{,}30\ \%$ 15) $\frac{-0{,}137+0{,}1365}{-0{,}137} * 100 = 0{,}36\ \%$

16) $\frac{-3{,}851+3{,}8442}{-3{,}851} * 100 = 0{,}18\ \%$

Все отступления являются допустимыми, т.к. они меньше 1 %. Таким образом, система «приёмник излучения - измерительный прибор» подобрана должным образом и при расчёте коэффициентов светопропускания и светорассеяния не требуется учитывать данную

погрешность.

Контроль точности результатов, полученных при помощи установки ОПП-153

Для контроля точности результатов была выполнена проверка коэффициентов светопропускания для набора нейтральных светофильтров на одном из новейших и точных спектрофотометров от японской фирмы SHIMADZU, а именно на модели UV-2550. В таблице 1 приведены результаты измерения коэффициентов светопропускания, полученные на установке ОПП-153 и на спектрофотометре SHIMADZU UV-2550.

Таблица 1

Сравнительная таблица коэффициентов светопропускания, полученных на установке ОПП-153 и на спектрофотометре SHIMADZU UV-2550

Номера образцов	Коэффициент светопропускания (τ), %	
	ОПП-153	SHIMADZU UV-2550
004548	7,2	6,87
002755	52	51
002414	14,3	13,47
005617	30,3	28,34
003119	20,5	20,46
005036	72,6	79,1
005949	88,7	91,22
002048	34,7	35,44
001546	44,2	44,41
012828	4,4	3,33
012306	53,8	52,97
011259	64,1	64
011747	39,8	39,83
004031	10,4	10,05
004312	1	1
003439	29,5	28,29

Значения коэффициентов светопропускания в среднем отличаются на 0,75%. Исходя из этого можно сделать вывод, что установка ОПП-153 является точной.

Проверка зависимости показаний измерительного прибора от площади освещаемой поверхности фотоэлемента ФЭС-10 при неизменном потоке излучения.

Проверка была выполнена на установке ОПП-153. В качестве образцов были взяты объектив Юпитер-37А 3,5/135 и монокуляр МП 12х45. Ирисовая диафрагма открыта на максимальное значение, равное 30 мм. Коэффициент светопропускания фокусирующей линзы равен 0,86.

Получены следующие результаты:

Без объектива и монокуляра

N_0 = 0 мкА

$N =$	-18,164	$\Delta_i^{вер.} =$	-0,003
	-18,163		-0,002
	-18,160		0,001
	-18,158		0,003
	-18,168		-0,007
	-18,155		0,006
$N^{ср} =$	-18,161 мкА	$\Delta_i^{вер.ср} =$	-0,0003 мкА

Среднеквадратическая погрешность:

σ’ = 0,00465 мкА,

Значение $N^{ср}$ с учётом вероятной погрешности:

$$N'^{ср} = -18{,}161 - 0{,}0003 = -18{,}1613 \text{ мкА.}$$

С объективом

Диаметр освещённой площадки равен 30 мм.

$N_{30} =$	-16,283	$\Delta_i^{вер.} =$	-0,005
	-16,287		-0,009
	-16,265		0,013
	-16,273		0,005
	-16,279		-0,001
	-16,281		-0,003
$N_{30}^{ср} =$	-16,278 мкА	$\Delta_i^{вер.ср} =$	0 мкА

Среднеквадратическая погрешность:

σ’ = 0,00787 мкА,

Значение $N_{30}^{ср}$ с учётом вероятной погрешности:

$$N'^{ср}_{30} = -16{,}278 + 0 = -16{,}278 \text{ мкА},$$

Коэффициент светопропускания:

$$\tau = \frac{-16{,}278}{-18{,}1613} * 100 = 89{,}63\ \%.$$

С монокуляром

Диаметр освещённой площадки равен 30 мм.

$N_{30} =$	-11,340	$\Delta_i^{вер.} =$	0,001
	-11,342		-0,001
	-11,341		0
	-11,342		-0,001
	-11,339		0,002
	-11,341		0
$N_{30}^{ср} =$	-11,341 мкА	$\Delta_i^{вер.ср} =$	0,0002 мкА

Среднеквадратическая погрешность:

σ’ = 0,00118 мкА,

Значение $N_{30}^{ср}$ с учётом вероятной погрешности:

$$N'^{ср}_{30} = -11{,}341 + 0{,}0002 = -11{,}3408 \text{ мкА},$$

Коэффициент светопропускания:

$$\tau = \frac{-11{,}3408}{-18{,}1613 * 0{,}86} * 100 = 72{,}6\ \%.$$

Таким же образом выполнил проверку с объективом и монокуляром при диаметре освещенной площадки фотоприёмника равной 25 мм, 20 мм, 15 мм, 10 мм, 5 мм. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов светопропускания для объектива Юпитер-37А 3,5/135 и монокуляра МП 12х45 при разных диаметрах освещенной площадки фотоприёмника

Диаметр освещенной площадки (D), мм	Коэффициент светопропускания (τ), %	
	Юпитер-37А 3,5/135	МП 12х45
30	89,63	72,6
25	89,54	72,5
20	89,47	72,32
15	88,22	71,73
10	87,23	70,89
5	81,83	68,32

При уменьшении диаметра освещенной площадки фотоприёмника уменьшается и количество энергии, считываемое приёмником излучения. Для наглядности были построены графики зависимости показаний измерительного прибора от величины диаметра освещаемой поверхности.

Определение величины коэффициента полезного светопропускания.

Работа проводилась на установке ОПП-102. В качестве образцов были взяты объектив Юпитер-37А 3,5/135 и монокуляр МП 12х45.

Получены следующие результаты:

1) Объектив:

Световой диаметр объектива равен 44 мм, диаметр ирисовой диафрагмы равен 46 мм, диаметр изображения чёрного предмета равен 6 мм, диаметр диафрагмы равен 3 мм.

$N_0' = 0$ мкА

Чёрный предмет

$N_з =$	-0,096	$\Delta_i^{вер.} =$	0,001
	-0,098		-0,001
	-0,097		0
	-0,099		-0,002
	-0,095		0,002
	-0,097		0
$N_з^{ср} =$	-0,097 мкА	$\Delta_i^{вер.ср} =$	0 мкА

Среднеквадратическая погрешность:

σ’ = 0,00141 мкА,

Значение $N_з^{ср}$ с учётом вероятной погрешности:

$$N_з'^{ср} = -0{,}097 + 0 = -0{,}097 \text{ мкА.}$$

Белый фон

$N_4 =$	-1,501	$\Delta_i^{вер.} =$	0
	-1,498		0,003
	-1,499		0,002
	-1,504		-0,003
	-1,503		-0,002
	-1,502		-0,001
$N_4^{ср} =$	-1,501 мкА	$\Delta_i^{вер.ср} =$	-0,0002 мкА

Среднеквадратическая погрешность:

σ’ = 0,00232 мкА,

Значение $N_4^{ср}$ с учётом вероятной погрешности:

$$N_4'^{ср} = -1{,}501 - 0{,}0002 = -1{,}5012 \text{ мкА,}$$

Коэффициент светорассеяния:

$$\sigma = \frac{\left(N_з^{ср} - N_0'^{ср}\right) + \Delta_з}{\left(N_4^{ср} - N_0'^{ср}\right) + \Delta_4} * 100\ \%, \qquad (3)$$

где $\Delta_з$ и Δ_4 – поправки для имеющейся системы «приёмник излучения - измерительный прибор» для величин $N_з^{ср}$ и $N_4^{ср}$.

$$\sigma = \frac{-0{,}097}{-1{,}5012} * 100 = 6{,}46\ \%.$$

2) Монокуляр:

Световой диаметр монокуляра равен 45 мм, диаметр ирисовой диафрагмы равен 48 мм, диаметр изображения чёрного предмета равен 38 мм, диаметр диафрагмы равен 19 мм.

$N_0' = 0$ мкА

Чёрный предмет

$N_з =$	-0,169	$\Delta_i^{вер.} =$	0
	-0,166		0,003
	-0,168		0,001
	-0,171		-0,002
	-0,167		0,002
	-0,170		-0,001
$N_з^{ср} =$	-0,169 мкА	$\Delta_i^{вер.ср} =$	0,0005 мкА

Среднеквадратическая погрешность:

σ’ = 0,00195 мкА,

Значение $N_з^{ср}$ с учётом вероятной погрешности:

$$N_з'^{ср} = -0{,}169 + 0{,}0005 = -0{,}1685 \text{ мкА.}$$

Белый фон

$N_4 =$	-2,201	$\Delta_i^{вер.} =$	-0,001
	-2,198		0,002
	-2,189		0,001
	-2,202		-0,002
	-2,201		-0,001
	-2,199		0,001
$N_4^{ср} =$	-2,200 мкА	$\Delta_i^{вер.ср} =$	0 мкА

Среднеквадратическая погрешность:

σ’ = 0,00155 мкА,

Значение $N_4^{ср}$ с учётом вероятной погрешности:

$$N'^{ср}_4 = -2{,}200 + 0 = -2{,}200 \text{ мкА},$$

Коэффициент светорассеяния:

$$\sigma = \frac{-0{,}1685}{-2{,}200} * 100 = 7{,}66\ \%.$$

Величина коэффициента полезного светопропускания для объектива Юпитер-37А 3,5/135 и монокуляра МП 12х45 определяется по формуле

$$\tau_п = \frac{((N_2^{ср} - N_0^{ср}) + \Delta_2) - N_3^{ср}}{(N_1^{ср} - N_0^{ср}) + \Delta_1} * 100\ \%,$$

(4)

Коэффициент полезного светопропускания объектива:

$$\tau_п = \frac{N_{30}'^{ср} - N_3'^{ср}}{N'^{ср}} * 100 = \frac{-16{,}278 + 0{,}097}{-18{,}1613} * 100 = 89{,}1\ \%,$$

Коэффициент полезного светопропускания монокуляра:

$$\tau_п = \frac{N_{30}'^{ср} - N_3'^{ср}}{N'^{ср}} * 100 = \frac{-11{,}3408 + 0{,}1685}{-18{,}1613} * 100 = 61{,}52\ \%.$$

Таким образом, при расчёте коэффициентов светопропускания с учётом потерь на светорассеяние потока излучения, можно добиться более истинного результата.

Заключение

1) Проведены измерения коэффициентов пропускания для 16 нейтральных стекол, для объектива Юпитер 47А и монокуляра МП 12х45 на ОПП-153 с допустимой погрешностью 3%.

2) Выполнена проверка линейности связи между отсчётами мультиметра и световыми потоками, падающими на поверхность фотоприёмника.

3) Выявлена необходимость выставления фотоприёмника таким образом, чтобы диаметр светового пучка, падающего на него, после установки измеряемого изделия оставался таким же, как и диаметр выходящего из коллиматора пучка с допустимым отклонением в 2 мм.

4) Показана необходимость учёта потерь на светорассеяние при измерении коэффициентов светопропускания оптических систем.

5) Проверена точность измерения коэффициентов светопропускания на ОПП-153 по сравнению с результатами, полученными на SHIMADZU UV-2550.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1) *Афанасьев, В. А.* Оптические измерения / В. А. Афанасьев. – М.: Геодезиздат, 1961. – 239 с.

2) *Дорохов, А. Н.* Оптические измерения: учеб. пособие / А. Н. Дорохов. - М-во образования и науки Рос. Федерации, Балт. гос. техн. ун-т "Военмех". - СПб.: БГТУ, 2005. – 204 с.

3) Оптические измерения / А. Н. Андреев [и др.]: Учеб. пособие. – М.: Университетская книга; Логос, 2008. – 416 с.

4) ГОСТ Р 50508-93. Приборы наблюдательные телескопические. Методы контроля

параметров. – Введ. 1994-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1993. – 32 с.
5) ОПП-153 ПС.
6) ОПП-102 ПС.
7) Контроль оптических характеристик приборов. URL: http://mylektsii.ru/5-92813.html

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE ACCURACY OF MEASURING THE LUMINATION EMISSION COEFFICIENTS AND LIGHT SCATTERING OF OPTICAL SYSTEMS

Dadakin V.
vladislav.dadakin@yandex.ru
Supervisior: N. Pavlycheva, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

The results of the study of the possibility of improving the accuracy of measuring the transmittance and light scattering coefficients of optical systems are presented.

УДК 681.7

ПРИМЕНЕНИЕ ОСЕВЫХ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ГОЛОГРАММ ДЛЯ АТТЕСТАЦИИ ОСНОВНЫХ ПРОБНЫХ СТЕКОЛ ПЕРВОГО КЛАССА

Егошин Д.А., Миндубаев А.Р., Садрутдинов А.И.
gipo@telebit.ru
(АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики», г. Казань)

В докладе представлена методика лазерно-голографической аттестации основных пробных стекол первого класса точности на основе использования осевых синтезированных голограмм в качестве оптических образцов. Рассмотрены особенности, и на примере аттестации пробных стекол с номинальным радиусом кривизны 10 м показаны преимущества данной методики по сравнению с применяемыми на практике в оптическом производстве.

Осевые синтезированные голограммы (СГ), наряду с классическими оптическими элементами (линзами, зеркалами, пластинами, призмами, клиньями) и дифракционными оптическими элементами (дифракционными решетками, узкополосными голограммными фильтрами и др.), являются важнейшей составляющей элементной базы современных оптических и оптико-электронных приборов и систем различного назначения [1, 2]. Осевые СГ выполняют функции либо образцовых оптических элементов и компенсаторов (контрольно-диагностическая аппаратура), либо силовых оптических элементов (лазерная оптика, корректоры хроматических аберраций) [1].

Лазерно-голографические методы и средства контроля на основе использования осевых СГ позволяют контролировать [1]:

– форму асферических поверхностей любого порядка;

– форму и значения радиусов кривизны сферических и цилиндрических поверхностей, в том числе пробных стекол [3, 4].

Изготовление СГ в АО «НПО ГИПО» осуществляется с помощью круговых делительных машин типа МДА-9, МДА-10. В качестве инструмента используются специальные бицилиндрические и трапецеидальные алмазные резцы [2, 3].

В круговой делительной машине МДА-10 используется пьезоэлектрический привод продольного перемещения делительной каретки (рис. 1). Управление процессом нарезания структуры СГ осуществляется по специальной программе с помощью персонального компьютера. Машина МДА-10 позволяет изготавливать круговые СГ световым диаметром до 230 мм.

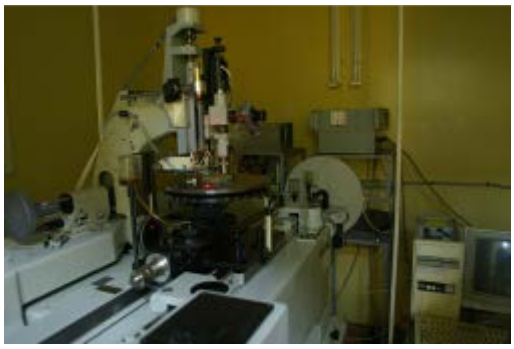


Рис. 1. Снимок круговой делительной машины МДА-10

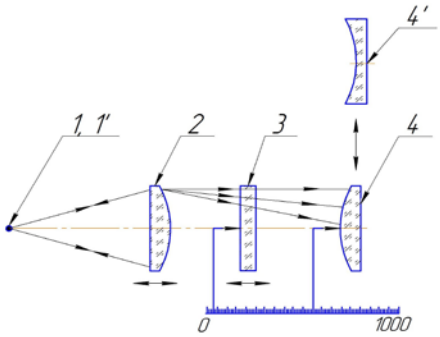


Рис. 2. Принципиальная оптическая схема измерительного канала устройства для контроля радиусов кривизны пробных стекол первого класса точности

Пробные стекла обычно контролируются:

- с помощью настольных или накладных сферометров, реализующих контактный способ, которые должны ежегодно поверяться, что в настоящее время проблематично в условиях функционирования современной отечественной метрологической службы;

- либо путем сличения с паспортизованными пробными стеклами с одинаковым номинальным радиусом, но противоположным по знаку, этот подход также реализует контактный способ; эти пробные стекла должны периодически паспортизоваться с подтверждением своего оптического качества и радиуса кривизны поверхностей (при таком способе контроля пробных стекол не исключена возможность ухудшения чистоты поверхности за счет появления царапин и сколов); пробные стекла изготавливаются на конкретный (дискретный) номинал радиуса кривизны и, как следствие, это приводит к увеличению количества пробных стекол, использующихся в оптическом производстве;

- либо в схеме интерферометра, например, типа Тваймана-Грина, но при этом, в случае контроля радиусов кривизны пробных стекол более 1000 мм, необходимо создавать и использовать контрольные интерферометрические установки со значительными габаритами, обеспечивая, во-первых, точность отсчета на больших расстояниях в измерительном канале при перемещении контролируемого пробного стекла, во-вторых, соблюдение в их схемах равенства оптического пути в опорном и измерительном каналах для получения наилучшего контраста интерференционной картины (при использовании одномодовых лазерных источников света).

Для преодоления недостатков указанных выше трех способов контроля радиусов кривизны пробных стекол предлагается использовать способ контроля на основе применения осевых СГ, к преимуществам которого следует отнести:

- аттестация СГ как образцового элемента осуществляется путем измерения радиусов контрольных колец в структуре этой СГ с помощью поверенного микроскопа, например, модели ДИП-1 и сравнения с расчетным значением этих радиусов согласно методике, изложенной в [3];

- реализуется бесконтактный способ контроля;

- контроль одной СГ может быть осуществлен для большого массива пробных стекол с непрерывным изменением значения их радиусов кривизны;

- одной СГ контролируются радиусы кривизны как для выпуклых, так и для вогнутых поверхностей;

- при использовании СГ контролируется не значение радиуса кривизны, а отклонение от номинального радиуса кривизны, что существенно (в разы) сокращает габариты контрольных интерферометрических установок и уменьшает размеры применяемых датчиков линейных перемещений.

На рис. 2 представлена принципиальная оптическая схема измерительного канала лазерно-голографического устройства для контроля радиусов кривизны пробных стекол

первого класса точности. Способ контроля радиусов кривизны пробных стекол заключается в следующем. Свет от точечного источника *1* падает на сменный объектив *2*, формирующий сферический сходящийся или расходящийся волновой фронт, направляемый на образцовую СГ *3* или на испытуемое основное пробное стекло *4*. В начальный момент формируется автоколимационное изображение от СГ *3* при продольном перемещении объектива *2*. Далее касаются щупом центра рабочей поверхности СГ *3*, и снимается первый отсчет. Затем СГ *3* удаляется, после чего формируется второе автоколлимационное изображение путем соответствующего продольного перемещения контролируемого пробного стекла *4*. Далее касаются центра рабочей поверхности пробного стекла *4*, и снимается второй отсчет. Разность этих двух отсчетов дает отклонение радиуса кривизны контролируемого пробного стекла *4* от расчетного, которое моделируется при помощи образцовой СГ *3*.

Рассмотрим пример аттестации пробных стекол радиусом $R = \pm 10$ м. Для этого воспользуемся классической формулой дифракции света на дифракционной структуре СГ при автоколлимации [1]:

$$2\sin\varphi = \lambda/d, \qquad (1)$$

где $\varphi = \operatorname{arctg}(r/R)$; φ – угол дифракции, град;

λ – длина волны измерения лазера, мкм; $\lambda = 0{,}6328$ мкм;

d – период штрихов (колец) СГ, мкм;

r – половина светового диаметра контролируемого пробного стекла, мм; $r = 65$ мм;

R – номинальный радиус кривизны контролируемой пары пробных стекол (выпуклое и вогнутое), мм; $R = 10000$ мм.

Из формулы (1) видно, что минимальный период СГ d_{min} равен:

$$d_{min} = \lambda/(2\sin\varphi). \qquad (2)$$

Используя формулу (2), получаем значение $d_{min} = 48{,}7$ мкм (см. рис. 3). Оценим погрешность контроля радиуса кривизны пробного стекла при использовании данной СГ. При погрешности нанесения колец СГ, равной $\delta = \pm 1$ мкм, погрешность формирования заданного сферического волнового фронта ΔW не превысит δ/d_{min}. В данном случае $\Delta W = 0{,}02\lambda$, при этом погрешность измерения R составит 0,004%. Погрешность от «неплоскостности» рабочей поверхности СГ превышает погрешность его синтеза (погрешность нанесения колец) в 5 раз.

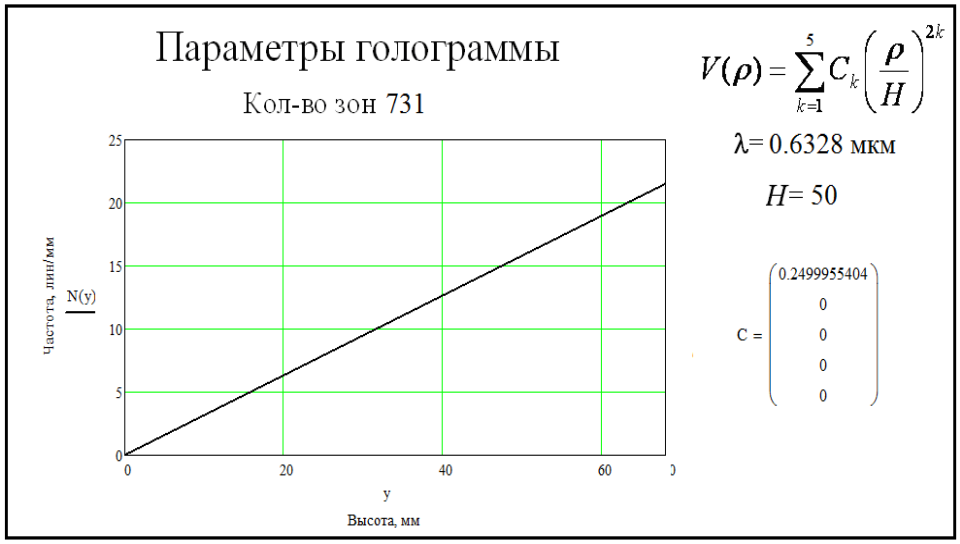


Рис. 3. Частотная характеристика СГ

Таким образом, суммарная погрешность синтеза СГ в данном случае не превышает 0,02%, что на порядок точнее, чем требование по ГОСТ 2786-82, в котором допуск δR равен ± 0,2%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Лукин А.В.* Голограммные оптические элементы // Оптический журнал. 2007. Т. 74. № 1. С. 80 – 87.

2. *Белозёров А.Ф., Ларионов Н.П., Лукин А.В., Мельников А.Н.* Осевые синтезированные голограммные оптические элементы: история развития, применения: Ч. I, II // Фотоника. 2014. № 4. С. 12 – 32; № 5. С. 30 – 41.

3. ОСТ 3-4730-80 – ОСТ 3-4732-80. Сборник отраслевых стандартов «Детали оптические с асферическими поверхностями. Метод контроля с использованием синтезированных голограмм».

4. ГОСТ 2786-82 «Стекла пробные для проверки радиусов и формы сферических оптических поверхностей».

5. ГОСТ 1807-75 «Радиусы сферических поверхностей оптических деталей. Ряды числовых значений».

THE USE OF AXIAL SYNTHESIZED HOLOGRAMS TO EVALUATE BASIC FIRST-CLASS TRIAL LENSES

Yegoshin D., Mindubayev A., Sadrutdinov A.

gipo@telebit.ru

(JSC "NPO "State Institute of Applied Optics", Kazan)

The report presents a method of laser-holographic evaluation of basic trial lenses of the first accuracy class based on the use of axial synthesized holograms as optical samples. It describes the features and shows the advantages of this method as compared to the ones currently used in optical production by giving an example of evaluating trial lenses with a nominal radius of curvature of 10 m.

УДК 535.5

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Заичко К.В., Шарангович С.Н.

zaichkokv@gmail.com

Научный руководитель: С.Н. Шарангович, канд. физ.-мат. наук, профессор

(Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск)

В данной работе рассмотрена возможность применения волоконно-оптических датчик для контроля температуры бортовой и радиоэлектронной аппаратуры. Представлены результаты экспериментальных исследований макета.

Волоконно-оптические датчики это устройства с применением оптоволоконных технологий для определения некоторого рода величин, к ним относятся температура, механическое напряжение, а так же иногда смещения, вибраций, давления, ускорения, вращения (измерения проводятся с помощью оптических гироскопов на основе эффекте Саньяка), и т.д. [1].

Цель работы – разработка, производство и экспериментальное исследование макетного образца платы, который будет оснащаться тепловыми имитаторами и датчиками на основе оптического волокна.

Структурная схема тракта связи показана на рис. 1. Так же на схеме показан интеррогатор принципиальная схема которого показана на рис. 2. Интеррогатор выступает в качестве системы измерения на основе волоконно-оптических датчиков, осуществляя одновременно регистрацию показаний каждого из подключенных датчиков и передачу измеренных показаний устройствам верхнего уровня (в простейшем случае – серверу оператора).

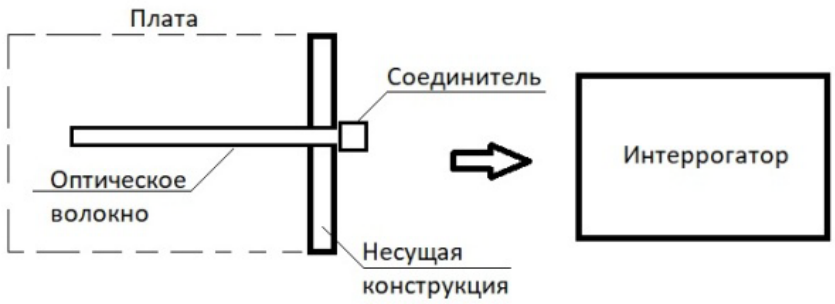


Рис. 1. Схема тракта связи

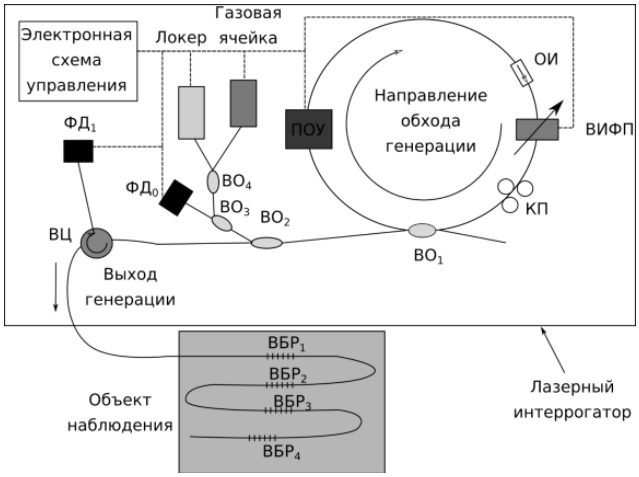


Рис. 2. Принципиальная схема волоконного лазерного интеррогатора поляризации [1]

В одну плату необходимо встраивать одно оптоволокно, которое должно быть подключено к оптическому разъему на верхней части рамки. Схема встраивания оптоволокна показана на рис. 2. На волокне должны располагаться Брэгговские решетки (датчики) – 21 шт. Расстояние между решетками (датчиками) составляет по 25 мм на ровной части и по 33,6 мм на изгибах (см. рис. 3).

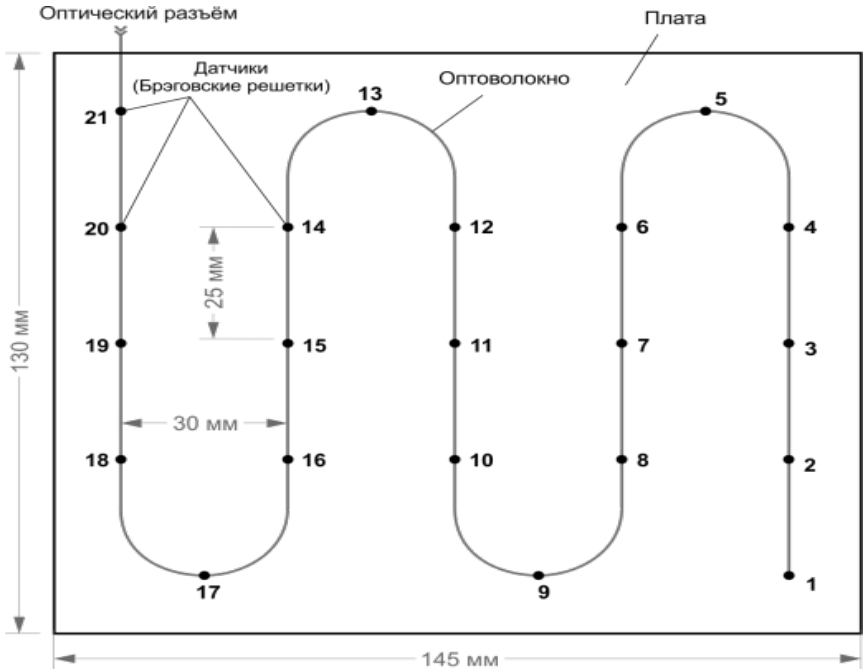


Рис. 3. Схема расположения волокна с датчиками (решетками) на плате

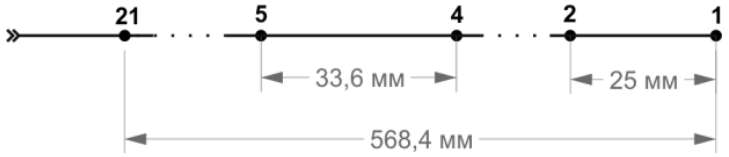


Рис. 4. Расстояние между решетками

В работе представлены результаты экспериментальных исследований макета. Данная работа проводится в рамках НИОКР «Применение волоконно-оптических датчиков для контроля температуры бортовой РЭА КА».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Буймистрюк, Г.Я.* Информационно-измерительная техника и технология на основе волоконно-оптических датчиков и систем: монография /Г.Я. Буймистрюк. – СПб: ИВА, ГРОЦ Минатома, 2005. – 191 С.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF THE APPLICATION OF FIBER-OPTICAL SENSORS FOR THE CONTROL OF THE TEMPERATURE OF ONBOARD RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT OF SPACE APPARATUS

Zaichko K., Sharangovich S.
zaichkokv@gmail.com
Supervisor: S. Sharangovich, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Full Professor
(Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk)

In this paper, we consider the possibility of using a fiber-optic sensor to monitor the temperature of onboard and electronic equipment. The results of experimental studies of the layout are presented.

УДК 621.78

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВИЗОРА В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Саяркина А.С., Егошина Н.А.
ansay799@bk.ru, kitchensinknata@gmail.com
Научный руководитель: Р.Х. Макаева, д-р техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Применение малогабаритной аппаратуры в составе космических летательных аппаратов при аэрокосмическом мониторинге считается актуальной задачей для мировой космонавтики. Главной тенденцией современных ракетно-космических технологий является уменьшение массово-габаритных характеристик как самих летательных аппаратов, так и их бортовых устройств. Данная статья посвящена одному из таких приборов, тепловизору.

В последние годы интенсивно разрабатываются технологии, связанные с созданием миниатюрных тепловизоров, предназначенных для проведения радиокосмических съемок геологических разломов, карстровых отложений нефти и экологически чистой воды, для мониторинга пожаров, отслеживания экологических ситуаций на исследуемых территориях. Сегодня инженерам необходимо находить компромисс между качеством материалов, применяемых при изготовлении, разнообразием и достоверностью получаемой прибором информацией, прочностью и долговечностью конструкции, и разумной стоимостью.

Известно, что любой объект излучает электромагнитные волны в широком диапазоне частот, в том числе и в инфракрасном (ИК), «тепловом», спектре. Устройство, позволяющее улавливать и визуализировать тепловое излучение, называется тепловизором.

Несмотря на то, что условия освещенности почти никак не влияют на интенсивность

инфракрасного излучения, при измерениях все же учитываются другие особенности окружающей среды. Дело в том, что тепловое излучение ослабляется при прохождении через воду, пар, дым, некоторые газы вследствие молекулярного поглощения. Получается, один и тот же тепловизор на Земле и из космоса получит разные результаты из-за наличия атмосферы. Существуют два так называемых «окна прозрачности», в которых поглощением некоторыми газами в составе атмосферы обычно можно пренебречь, это 3,5-5 мкм и 8-14 мкм. В этих диапазонах работают наземные тепловизоры.

На космических аппаратах устройства работают в области длин волн 5–8 мкм и выше 14 мкм по вышеназванным причинам. Одновременно несколько диапазонов не используются – это связанно с трудностью изготовления соответствующих объективов.

Далее рассматриваются космические тепловизоры на конкретных примерах.

Аэрокосмические системы мониторинга и предсказания природных и техногенных катастроф, разработанные в ЗАО «Аэрокосмический институт», возглавляемом Мухамедяровым Робертом Давлетовичем, производят непрерывные дистанционные измерения изменений тепловой энергии поверхности и глубинной структуры Земли, анализ состояния энергетически напряженных точек земной поверхности, где могут произойти в ближайшее время перемещения отдельных участков или слоев Земли (землетрясения, извержения вулканов, цунами и другие катастрофы природного и техногенного характера).

«Аэрокосмический институт» ставит перед собой задачу по размещению целого комплекса, состоящего из шести оснащенных всем необходимым оборудованием спутников, на околоземной орбите. Таким образом, многоуровневый и повсеместный мониторинг земной поверхности обеспечит комфортную жизнедеятельность человека, предоставляя информацию о возможных природных и техногенных катастрофах и занимаясь поиском глубинных залежей полезных ископаемых и чистой воды. Более того, необходимо отметить, что в долгосрочной перспективе данный проект будет коммерчески выгоднее по сравнению с миссиями одиночных спутников ввиду многонаправленности проводимых исследований и, самое главное, стабильности системы, которая не требует больших затрат в процессе эксплуатации.



Рис. 1. Внешний вид тепловизора, включенного в спутниковую систему [5]



Рис. 2. Тепловизионная съемка акватории порта Искедерун, сделанная
в ночное время с помощью аэрокосмической, системы показывает зоны загрязнения моря.
На снимке видно, как распространяются отходы из очистительных сооружений вдоль побережья [5]

Landsat-8 — американский спутник дистанционного зондирования Земли, создан совместно NASA и USGS. Приборы, установленные на спутнике, рассчитаны на получение различных видов изображений: в 9 диапазонах видимого света и ближнего ИК и в 2 диапазонах дальнего (теплового) ИК.

Особый интерес представляет тепловой инфракрасный датчик **Thermal Infra Red Sensor** (TIRS). Датчик предназначен для получения изображений в дальнем и инфракрасном диапазоне. Инструмент TIRS имеет полосу обзора в 185 километров что делает исследования более полными. TIRS состоит из 3 модулей и имеет 4 линзы, изготовленные из германия и селенида цинка. Отдельные составляющие тепловизора необходимо охлаждать до требуемых температур, например, телескоп охлаждается до 185 К за счет излучения тепла с специального радиатора, а модули охлаждаются до 43 К при помощи крио генератора. Тепловой инфрокрасный датчик активно используется США для отслеживания состояния различных экосистем, в частности для управления потреблением воды при орошении сельскохозяйственных культур. Необходимо отметить, что Landsat-8 – не первый спутник миссии Landsat. Это говорит о том, что получаемая аппаратом информация не только представляет интерес для науки, но и непосредственно применяется на практике.



Рис. 3. Озеро Солтон-Си в Южной Калифорнии и близлежащие орошаемые поля выделяются на этом снимке, сделанном 24 марта 2013 г. прибором инфрокрасного теплового датчика (TIRS) на спутнике Landsat [3]

Темные области изображения (рис. 3) холоднее, а более светлые области теплее. Темные пиксели, представляющие прохладные пятна и светлые пиксели горячих точек, являются ключом к тому, чтобы помочь управляющим водными ресурсами определить, где ценный ресурс используется для орошения, особенно в засушливых районах.

Тепловизоры на искусственном спутнике Земли Канопус-В-ИК, созданном АО «Корпорация „ВНИИЭМ“», предназначены для мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, выявления очагов лесных пожаров, обнаружения очагов крупных выбросов загрязняющих веществ в природную среду, для анализа сельскохозяйственной деятельности и наблюдения за состоянием природных ресурсов и картографирования. Спутник оборудован камерой, которая имеет разрешение два метра в видимом диапазоне, а также оснащён широкозахватной инфракрасной аппаратурой с полосой захвата 2000 км, способной обнаружить очаги пожара площадью 25 м^2.

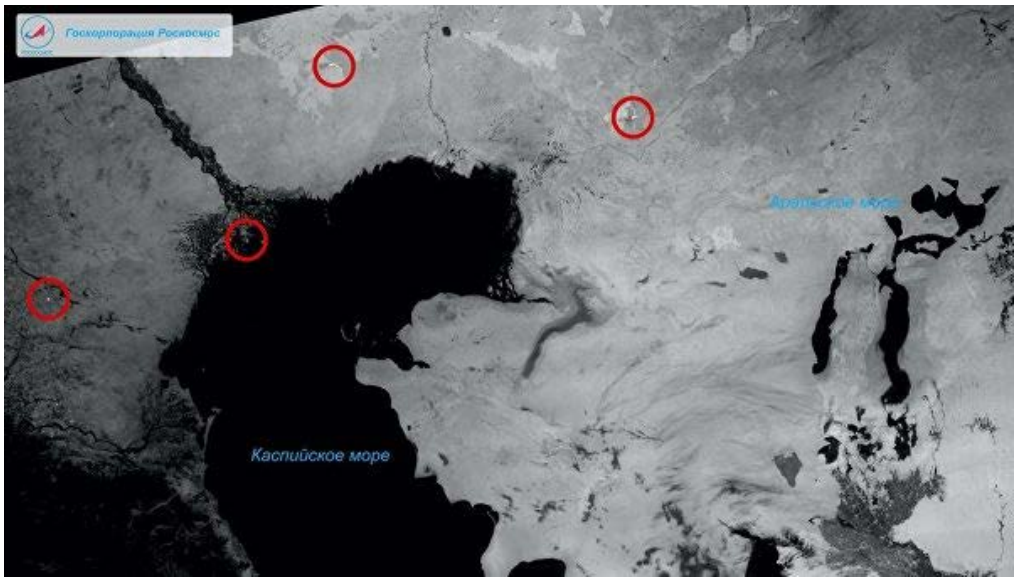


Рис. 4. На первом тестовом снимке, сделанным аппаратурой «Конопус-В-ИК» в инфракрасных диапазонах, удалось зафиксировать тепловые объекты в том числе и очаги пожаров на прикаспийских территориях России и Казахстана [5]

Отечественный искусственный спутник Земли Канопус-В-ИК классифицируется как малый космический летательный аппарат, что упрощает и удешевляет его доставку на околоземную орбиту и непосредственно саму эксплуатацию.

Одной из важнейших задач современного приборостроения является постепенное уменьшение размеров готовых устройств. Аппаратура для аэрокосмического мониторинга продолжает совершенствоваться и уже сейчас её использование позволяет создавать технически и экономически эффективные системы. Однако, в случае с тепловизором необходимо не столько уменьшить его габаритов, сколько найти такой его размер, при котором диапазон доступных частот, прочность конструкции и достоверность получаемых данных останутся на должном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Джемисон Дж.Э.*, Физика и техника инфракрасного излучения / Пер. с англ. под общ. ред. Н. В. Васильченко. М.: Книга по требованию, 2013. 640 с. (дата обращения: 10.05.2019)

2. *Коротаев В.В, Мельников Г.С., Михеев С.В.*, Основы тепловидения: Учебное пособие. СПб.: НИУ ИТМО. 2012. 122 с. (дата обращения: 15.05.2019)

3. Программа Landsat [Электронный ресурс]: NASA`s Landsat websait . – Электрон. дан. – М., 2019. – URL: https://landsat.gsfc.nasa.gov/how_landsat_helps/case-studies-2/ – Загл. с экрана (дата обращения: 27.06.2019)

4. *Вернер Н.А.*, Аэрокосмический мониторинг: Обозревательная статья [Электронный ресурс]: Plam.ru, Онлайн библиотека – М., 2017. – URL: http://www.plam.ru/transportavi/vertolyot_1999_01/p6.php – Загл. с экрана (дата обращения: 20.06.2019)

5. *Никитин С.* ООО «СКН», Тепловизоры: все не так просто/журнал «Алгоритм безопасности» №3, 2011г. (дата обращения: 16.06.2019)

APPLICATION OF THE THERMAL IMAGER IN THE AEROSPACE INDUSTRY

Sayarkina A., Egoshina N.
ansay799@bk.ru, kitchensinknata@gmail.com
Supervisor: R. Makaeva, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The using of small-sized devices in the composition of space aircraft in aerospace monitoring is considered an urgent task for the world of space exploration. The main trend of modern rocket and space technologies is to reduce the mass-dimensional characteristics of both the aircraft and their onboard devices. This article is devoted to.

УДК 62-533.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМ ПРИБОРОМ

Чеплаков А.Н.
alexandr.cheplakov@gmail.com
Научный руководитель: А.И. Карпов, канд. техн. наук
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань*)

Приведены результаты исследования динамики системы слежения оптико-электронным прибором, с учетом внешних воздействий.

Введение

Одним из достижением науки в военной промышленности является появление компьютеризированных систем автоматического слежения (САС) и наведения (САН). Оптико-электронные приборы (ОЭП) с такими системами способны навестись на любой объект наблюдения и следить за ним, либо на протяжение заданного периода времени, либо пока он не исчезнет из области видимости прибора. Такие системы, как САС, действительно повысили потенциал оптики, работающей как в видимом спектре, так и в ИК и УФ спектрах [1].

Рассматривается САС ОЭП морского базирования (Рис. 1.), имеющий в качестве чувствительного элемента матричный фотоприемник.

Цель работы: определение параметров регулятора, обеспечивающих заданные показатели качества регулирования.

Исходные данные [2]*:* скорость движения цели $\dot{\alpha}_{вх} = 1 рад/с$, амплитуда и период качки: $\alpha_0 = (3-5)°$, $T_0 = (5-8)$ с, момент инерции нагрузки $J_н = 0{,}1$ кг м^2, мощность двигателя $P = 26$ Вт, скорость вращения ротора $n = 5200$ об/мин, номинальный ток якоря, $i_я = 2{,}4$ А, номинальное напряжение $U_{ном} = 24$ В, сопротивление якоря $R_я = 1{,}15$ Ом, индуктивность якоря $L_я = 0{,}0005$ Гн, момент индукции якоря $J_я = 0{,}38 * 10^{-4}$ кг м^2, возмущающий момент $M_в = 2{,}5$ Н м, передаточный коэффициент тахогенератора $K_{тг} = 0{,}02$ В/(об/мин), передаточный коэффициент редуктора $K_р = 0{,}01$, постоянная времени фильтра $T_ф = 0{,}005$ с, коэффициент датчика $K_д = 10$ В/рад.

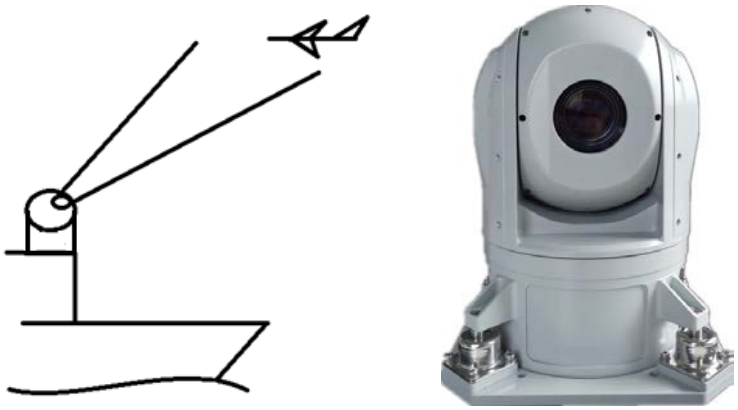


Рис. 1. Слева – схема установки на судно, справа – внешний вид ОЭП.

Показатели качества системы: статическая ошибка $\delta_{ст} \leq 0{,}1°$, скоростная ошибка $\delta_{ск} \leq 0{,}2°$, время регулирования $\tau_р \leq 0{,}15$ с, перерегулирование $\sigma \leq 24$ %.

1. Уравнение следящей системы

1.1. *Уравнения регулятора*:

$$\Delta U_д = К_д\ \varepsilon,\ U_ф = \frac{К_д}{T_ф p+1}\Delta U_д,\ U = К_у(U_ф - К_{тг}\dot{\alpha}),\ \alpha_{вых} = К_р\ \alpha,\ \varepsilon = \alpha_{вх} - \alpha_{вых}. \quad (1)$$

где: $\alpha_{вых}$ - угол поворота прибора, α - угол поворота двигателя, ε – величина рассогласования, $\Delta U_д$ - разности напряжений на датчике, $U_ф$ - напряжение фильтра, U - напряжение после усилителя,

1.2 *Уравнение моментов* на валу двигателя - $J_{пр}\frac{d^2\alpha}{dt^2} + М^{пр}_{ном} = C_м i_я$, (2)

1.3 *Уравнение Кирхгофа* для цепи якоря - $U = L_я\frac{di_я}{dt} + R_я i_я + C_е\frac{da}{dt}$, (3)

Преобразовав (2), (3) получим в форме передаточных функций:

$$\dot{\alpha} = \frac{К_{дв}}{(T_м T_я p^2 + T_м p + 1)}U - \frac{К_м(T_я p+1)}{(T_м T_я p^2 + T_м p + 1)}M^{пр}_в = W_{дв}(p)U - W_м(p)M^{пр}_в. \quad (4)$$

где: $\frac{J_{пр}R_я}{C_м C_е} = T_м = 0.007258$ с, $\frac{1}{C_е} = К_{дв} = 25{,}641$, $C_м = \frac{М_{ном}}{i_я} = 0{,}0195\frac{Вт*с*В}{Вт}$,

$К_м = \frac{R_я}{C_м C_в} = 0{,}0195\frac{Вт*с*В}{Вт}$, $К_м = \frac{R_я}{C_м C_в} = 151{,}216305\ 1/(Нм*с)$. $M^{пр}_в$- момент возмущения на валу ротора двигателя, $J_{пр}$ –приведенный момент инерции к валу ротора, $C_е$ – коэффициент противо ЭДС, $T_я$- постоянная времени якоря, $T_м$ – электромеханическая постоянная привода, $C_м$ – коэффициент момента, $К_{дв}$ – коэффициент усиления двигателя по напряжению, $К_м$– коэффициент усиления двигателя по возмущению.

2. Структурная схема

На основе уравнений (1) -(4), построена структурная схема (Рис. 2.).

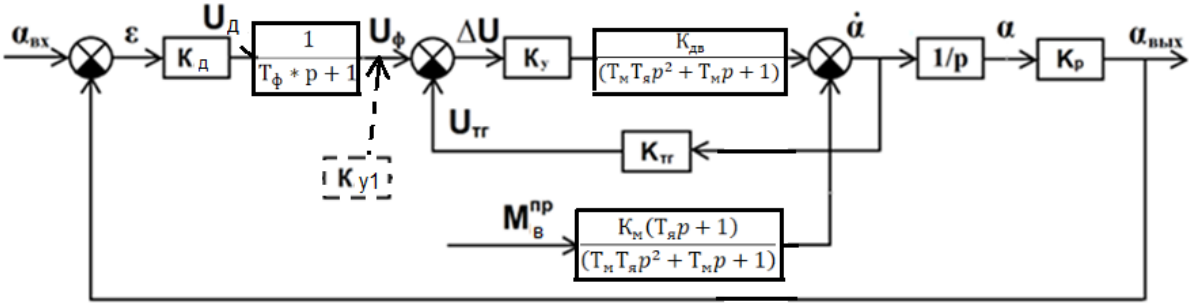


Рис. 2. Структурная схема системы слежения

Для дальнейших исследований, запишем передаточную функцию (ПФ) разомкнутой системы:

$$W(p)_{исх} = \frac{K_c}{(T_ф p+1)(T_м` T_я p^2 + T_м` p+1)p} = \frac{K_c}{p(T_ф p+1)\left(T'_п{}^2 p^2 + 2\xi T'_п p+1\right)} = \tag{8}$$

$$= \frac{300}{p(0.005\,p+1)(\,0.0005612^2 p^2 + 2*\,0.0005612*0{,}64665p+1)},$$

где: $K_c = \frac{K_д K_{дв} K_р K_у}{(1+K_у K_{дв} K_{тг})}$ - коэффициент системы, $T_м` = \frac{T_м}{1+K_у K_{тг} K_{дв}} = 0{,}0007258$,

$T_я = \frac{L_я}{R_я} = 0{,}000434$ с, $K_м` = \frac{K_м}{1+K_у K_{тг} K_{дв}} = 0{,}00195 \frac{Вт*с*В}{Вт}$.

$$\xi = \frac{T'_м}{2T_п} \rightarrow \frac{0{,}0007258\ с}{2*0.0005612\ с} = 0{,}64665, \tag{9}$$

$$T'_п = \sqrt{T'_м T_я} = \sqrt{0{,}0007258 * 0{,}000434} = 0.0005612\ с, \tag{10}$$

$$\delta_{ск} = \frac{1}{K_c}\dot{\alpha}_{вх} \Rightarrow K_c = \frac{\dot{\alpha}_{вх}}{\delta_{ск}} = \frac{\frac{1рад}{с}}{0.2^\circ} = \frac{1*57.3}{0.2} = 286.5\frac{1}{с} \rightarrow 300\frac{1}{с}, \tag{11}$$

3. Исследование устойчивости

Исследование устойчивости следящей системы, проводилось частотным методом[3]. Используя Matlab Simulink построены: логарифмическая амплитудная характеристика (ЛАХ) и логарифмическая фазовая характеристика (ЛФХ) разомкнутой системы (8), из анализа которых следует, что исходная система в соответствии с критерием Найквиста устойчива (рис. 3.), но имеет малый запас: по амплитуде: ΔL = 13,1 дБ., по фазе: Δφ = 35.2°,. Для увеличения устойчивости системы синтезирована желаемая передаточная функция:

$$W_{жел}(p) = \frac{K_c(T_2 p+1)}{p(T_1 p+1)(T_3 p+1)\left(Tп^2 p^2 + 2\xi Tп p+1\right)} = \tag{12}$$

$$= \frac{300(0{,}1p+1)}{p(0.5\,p+1)(0{,}0025p+1)(\,0.0005612^2 p^2 + 2*\,0.0005612*0{,}64665p+1)},$$

и корректирующее устройство с передаточной функцией:

$$W(p)_{кор} = \frac{W(p)_{исх}}{W(p)_{жел}} = \frac{(T_2 p+1)(T_ф p+1)}{(T_1 p+1)(T_3 p+1)} = \frac{(0{,}1p+1)(0{,}005+1)}{(0.5\,p+1)(0{,}0025p+1)}. \tag{13}$$

Построены ЛАХ и ЛФХ (Рис. 3.) с помощью Matlab по ПФ (12, 13), откуда видно, что желаемая система имеет запас устойчивости: по амплитуде: ΔL = 26,8 дБ., по фазе: Δφ = 71°.

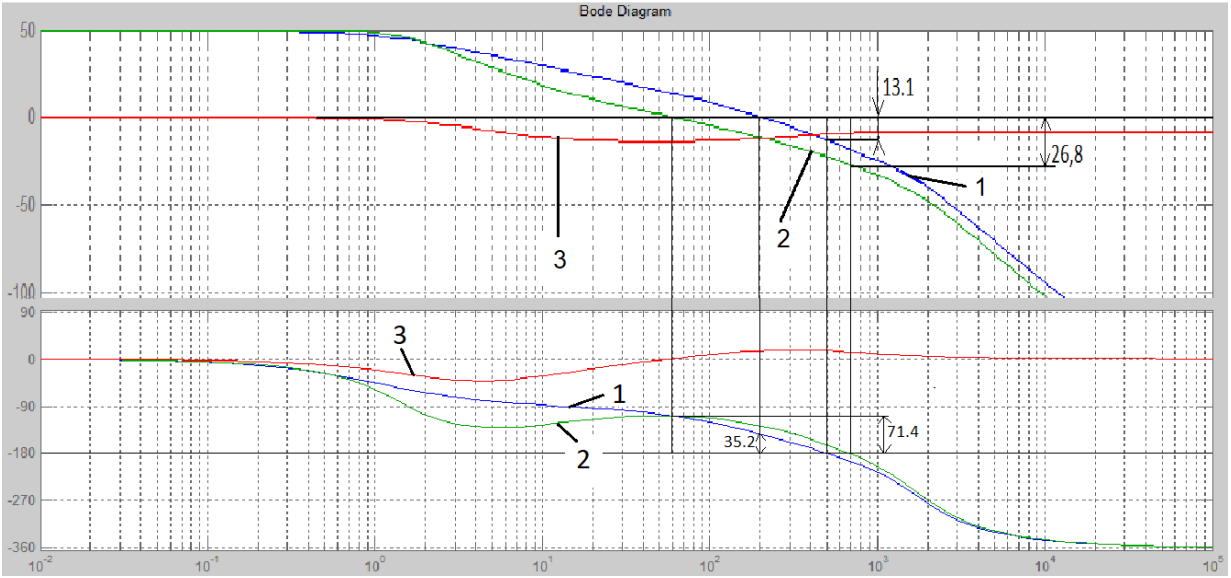


Рис. 3. ЛАХ и ЛФХ разомкнутой системы, где 1 – исходная, 2 – желаемая, 3 – корректирующая

4. Моделирование следящей системы

Разработана схема моделирования САС (1), (12), проведено исследование динамики с помощью Matlab Simulink.

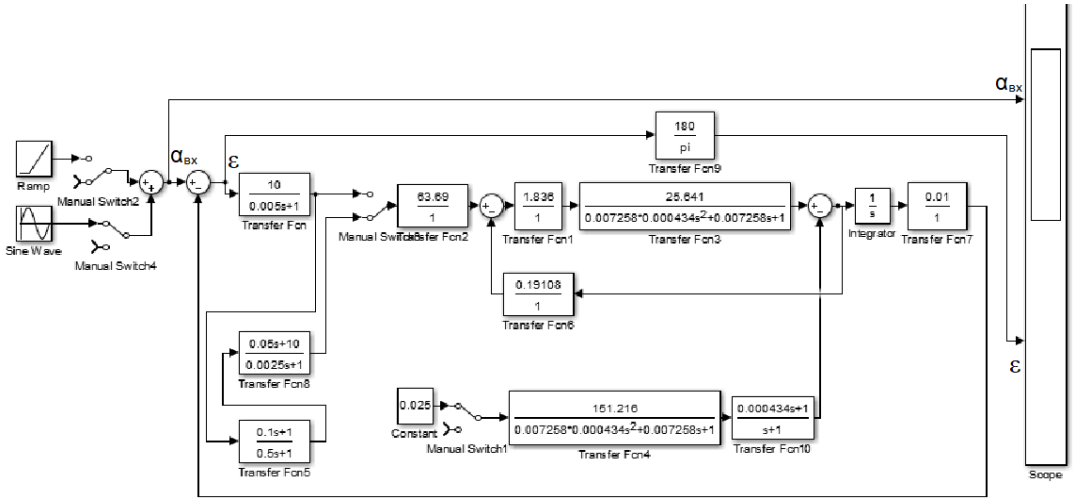


Рис. 4. Схема моделирования системы слежения ОЭП, $\overline{K_c} = K_c K_y$, $K_y = 63{,}69$

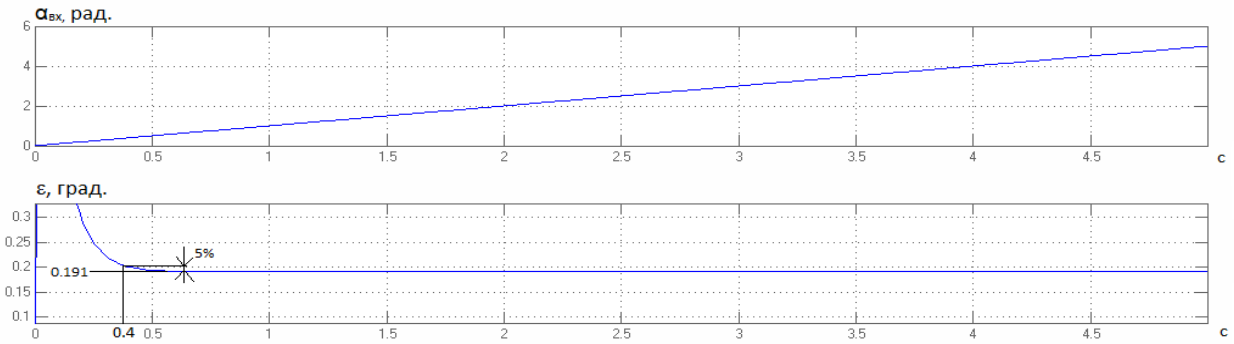


Рис. 5. Переходные и установившиеся процессы САС
за движущийся целью $\dot{\alpha}_{вх} = 1 рад/с$, момент нагрузки $M_в = 2{,}5$ Н м

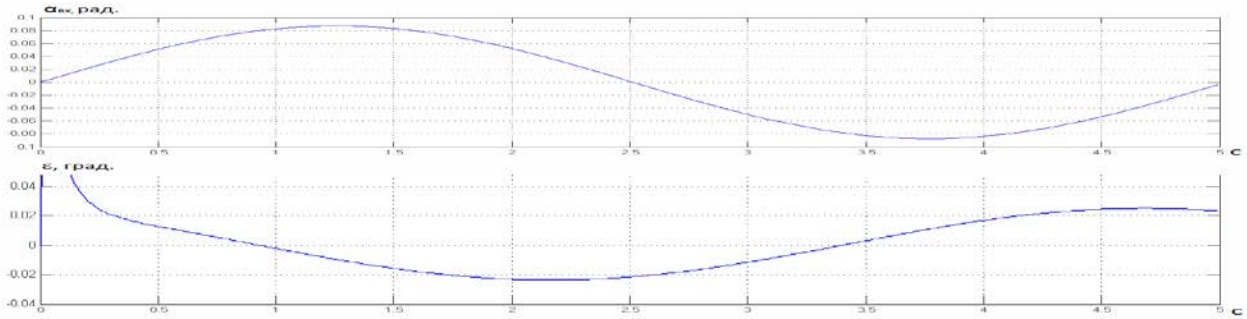


Рис. 6. Переходные и установившиеся процессы САС
во время качки ($\alpha_0 = 5°$, $T_0 = 5$ с), момент нагрузки $M_в = 2{,}5$ Н м

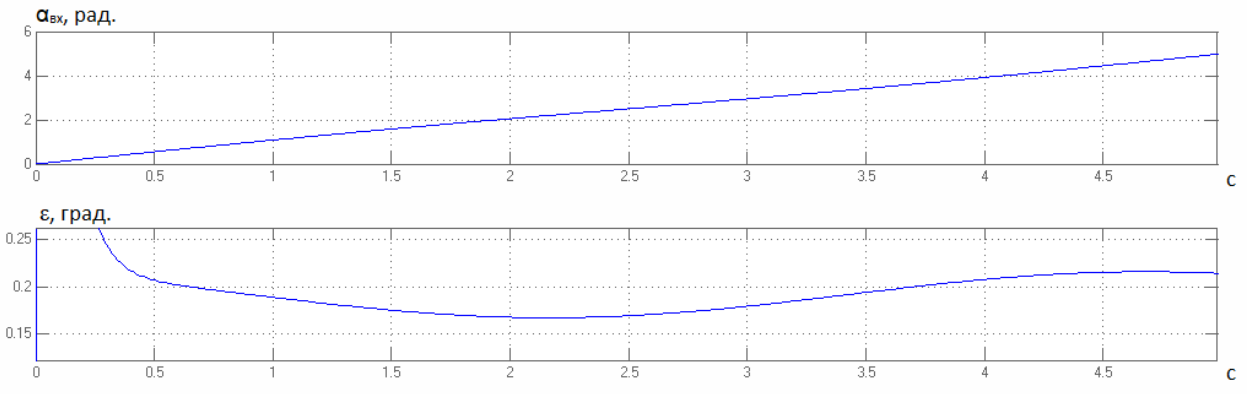


Рис. 7. Переходные и установившиеся процессы САС
с учетом качки и движения цели, момент нагрузки $M_в = 2{,}5$ Н м

Результаты исследования

Система является устойчивой (запас устойчивости: ΔL = 26,8 дБ., Δφ = 71°), время регулирования = 0.4 с., суммарная погрешность $\delta_\Sigma = 0.2$ при следующих параметрах $K_c = 300\ 1/с$, $K_у = 63{,}69$, $K_{у1} = 1{,}835$, $\alpha_0 = 5°$, $T_0 = 5$ с, $\dot{\alpha}_{вх} = 1$рад/с, $M_в = 2{,}5$ Н∗м, статическая ошибка $\delta_{ст} \leq 1°$, скоростная ошибка $\delta_{ск} \leq 0{,}2°$, перерегулирование $\sigma \leq 24$ %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Тарасов В.В. Якушенков Ю.Г.* Инфракрасные системы «смотрящего типа», – М.: Логос, 2004. – 444с.+8с.;

2. А.М. Аксянцев, А.Г. Аузяк, В.И. Гаркушенко, И.А. Кузьмин, Н.Н. Маливанов, А.В. Маханько, А.С. Мещанов. Теория автоматического управления. Методические указания к курсовой работе / Авт.-сост. под редакцией проф. Г. А. Дегтярева. Казань: КАИ, 1988. 32с.;

3. В.В. Солодовников. «Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования. Книга 1», издательство «Машиностроение», Москва, 1967. 770 с..

INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF THE OPTO-ELECTRONIC DEVICE TRACKING SYSTEM

Cheplakov A.
alexandr.cheplakov@gmail.com
Supervisor: A. Karpov, Candidate of Technical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The results of the study of the dynamics of the tracking system by an opto-electronic device (OED), taking into account external influences, are given.

УДК 535.317.611, 621.373.826

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА С РАВНОМЕРНОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ

Чеплаков А.Н.
alexandr.cheplakov@gmail.com
Научный руководитель: Н.К. Павлычева, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Данная работа посвящена исследованию возможности коррекции интенсивности лазерного пучка с помощью двухкомпонентной оптической системы, за счёт сферической аберрации первого компонента. Рассмотрены разные варианты телескопической схемы Галилея.

Сейчас лазеры используются для решения широкого спектра задач в нашей жизни, и для каждой необходим лазер с индивидуальными параметрами светового. Известно, что распределение интенсивности лазерного пучка не равномерно, а близко к Гауссову распределению (Рис.1), которое описывается одноименной формулой (1), что может снижать производительность в некоторых областях промышленности: голографии, интерферометрии, маркировка, гравировке, сварке, закалке. Это объясняется тем, что качество обработки материала падает, либо из-за того, что лазерный луч не равномерно обрабатывает всю площадь поверхности, на которую он падает, либо из-за того, что лазер теряет часть своей энергии, в результате рассеивания матовыми пластинами, которые тоже используются для изменения профиля интенсивности пучка.

$$I(r) = I_{max} e^{-2\frac{r^2}{\omega_0^2}}, \quad (1)$$

где: I – интенсивность излучения, I_{max} – максимальная интенсивность излучения r – расстояние от центра пучка.

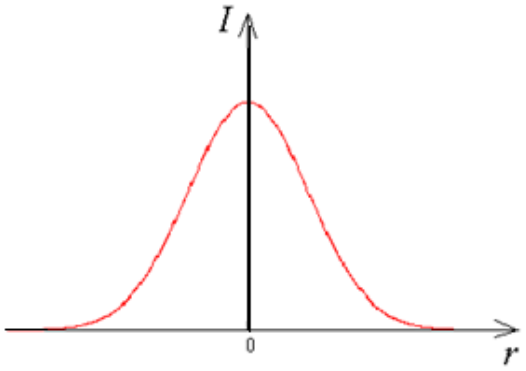


Рис. 1. Гауссово распределение

Поэтому, если требуется, необходимо исправить профиль интенсивности, сделав его равномерным по всему сечению. Для этой задачи желательна телескопическая система малой длины, чтобы не увеличивать габариты лазера, поэтому нам лучше всего подойдет система Галилея (Рис. 2), состоящая из двух компонентов: положительного и отрицательного, где задний фокус положительного компонента совпадает с передним фокусом отрицательного компонента. И в отличии от системы Кеплера, тут нет сходящихся пучков, которые могут вызвать нагрев, случайно попавших в фокус, частиц до состояния плазмы.

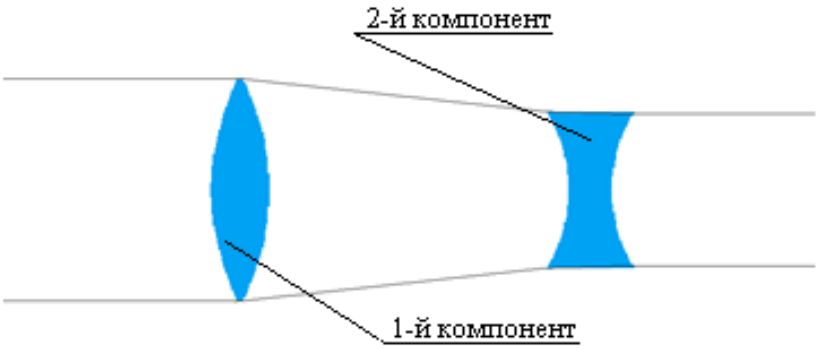


Рис. 2. Телескопическая система Галилея

В выбранной системе, положительная линза вносит сферическую аберрацию и перераспределяет интенсивность лазерного потока, а второй компонент устраняет созданные аберрации и возвращает гомоцентричность световому пучку, при этом интенсивность лазера становится более равномерной. Компоненты будут однолинзовыми, чтобы свести светопотери к минимуму и не допустить нагрев линз.

Система проектируется для твердотельного лазера на кристалле Y3AI5O12, легированном

ионами Nd3+ (иттрий-алюминиевый гранат с примесью неодима), который излучает на длине волны λ = 1,06 мкм и диаметром пятна 6мм. Возьмем относительно отверстие = 1:8, тогда фокусное расстояние первого компонента будет равно 48мм. Так как цель изменения диаметра пучка у нас не стоит, возьмем фокусное расстояние второго компонента равным 40мм.

Стекло будет марки ТФ10, из-за большого показателя преломления, т.к. в этом случае при определенном фокусном расстоянии радиусы кривизны поверхностей имеют большие значения, а это более технологично.

Найдем конструктивные параметры: 3-х положительных и 3-х отрицательных менисков, с разной степенью кривизны поверхности, методом подбора радиусов с помощью программы OPAL. Учитывая близкое расстояние между компонентами, их диаметр будем считать одинаковым.

Выбор пал на мениски не просто так, теоретически они должны дать максимальные сферические аберрации(рис.3.).

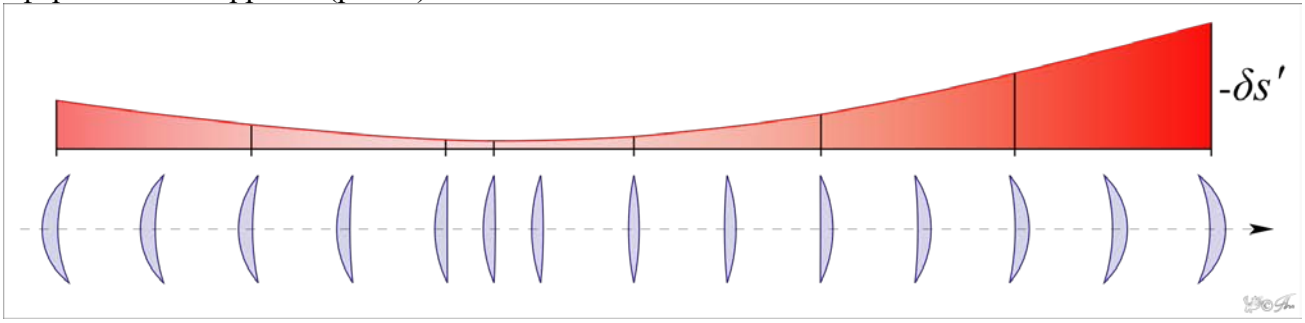


Рис. 3. Зависимость сферической аберрации от вида линзы

Найдем толщины линз по формуле (2) с учетом стрелок.

$$d = l_1 - l_2 + 0{,}1D, \quad (2)$$

$$l = \frac{h^2}{2r}, \quad (3)$$

где: h - высота линзы (h=0.5D), r-радиус поверхности, l – стрелки, d – толщина линзы, D – осевой диаметр линзы.

Запишем результаты расчета параметров линз в таблицу 1:

Таблица 1

Таблица рассчитанных параметров линз

Вид линзы	r_1, мм	r_2, мм	f', мм	Толщина по оси, мм
Положительный мениск 1	-6,9458	-6	48	0,4
Положительный мениск 2	-9,9697	-8	48	0,4
Положительный мениск 3	-13,4383	-10	48	0,4
Отрицательный мениск 1	7.6568	6	-40	0,4
Отрицательный мениск 2	11.0185	8	-40	0,4
Отрицательный мениск 3	15.0207	10	-40	0,4

Запишем результаты аберраций и истинные фокусные расстояния линз в таблицу 2:

Таблица 2

Таблица аберраций линз и истинных фокусных расстояний

Вид линзы	$\delta S'$прод, мм.	f'', мм
Положительный мениск 1	-14,094	48,0002
Положительный мениск 2	-7,897	47,9994
Положительный мениск 3	-5,075	47,9999
Отрицательный мениск 1	10.139	-39.9998
Отрицательный мениск 2	6,014	-40
Отрицательный мениск 3	4.002	-39,9998

Результаты аберраций показали, что мы можем использовать 4 комбинации линз для проектируемой системы:

1. Положительный мениск 2+ Отрицательный мениск 2
2. Положительный мениск 2+ Отрицательный мениск 3
3. Положительный мениск 3+ Отрицательный мениск 3
4. Положительный мениск 3+ Отрицательный мениск 2

Так же внесем аберрации и увеличение оптической системы упомянутых комбинаций линз в таблицу 3:

Таблица 3

Таблица аберраций и увеличения комбинаций линз

Пара №	$\delta S'$поп. мин.сек.	Г(увеличение)
1	39’ 35”	1,191
2	44’ 01”	1,186
3	24’ 09”	1,192
4	19’ 15”	1.196

Другие варианты предложенных компонентов не рассматриваются, из-за малых аберраций 2-х компонентов системы.

Точечная диаграмма пучка с равномерной интенсивностью, на первой поверхности положительных менисков выглядят следующе:

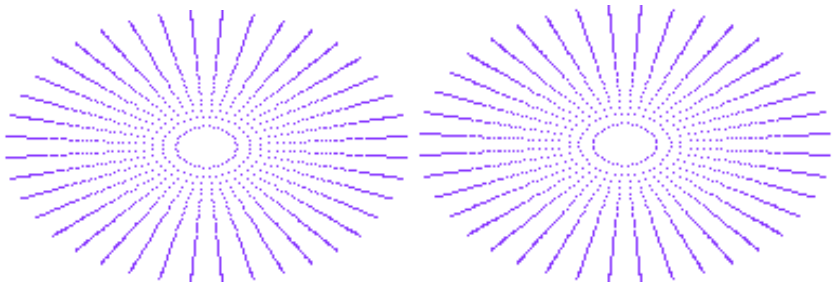


Рис. 4. Точечная диаграмма пучка лазера (OPAL),
слева – для комбинации №2 (где достигается самая большая сферическая аберрация),
справа – для комбинации №4 (где достигается самая маленькая сферическая аберрация)

В точечных диаграммах видно, что комбинации компонентов справились со своей главной задачей – перераспределением лазерного пучка. В них мы можем увидеть, что из-за созданной 1-м компонентом сферической аберрации, лучи из насыщенного центра пучка стремятся ближе к краю, чем и достигается равномерность.

Заключение. В докладе рассмотрены варианты системы перераспределения лазерного пучка “πShaper” и их аберрации. Каждая комбинация имеет свои плюсы и минусы в параметрах распределения. Например, комбинация №2, она способна лучше перераспределить интенсивность лазерного пучка, но имеет аберрации в 2 раза больше, чем комбинация №4, которая хуже справляется с перераспределением. Тем не менее, следует отдать предпочтение варианту №2, т.к. приоритет в данной исследовательской работе состоит в придание лазерному пучка максимальной равномерности профиля интенсивности лазерного пучка.

Также, по сравнению с работой [3], в данной работе были достигнуты большие аберрации и лучшие значения перераспределения, за счет использования менисков, что и показывала нам диаграмма зависимости формы линзы и сферической аберрации (рис. 3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *A. V. Laskin, V. B. Romashova, S. A. Bolt, N. V. Burov.* Laser beam intensity profile shapers. // Photonics Magazine Issue Vol. 12, - 2018, P. 178-190.

2. *Н.К. Павлычева* Прикладная оптика: учебное пособие, -2011, стр. 73-86.

3. *А.Н. Чеплаков* Оптическая система “πShaper” // Тезисы докладов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «ПРИКЛАДНАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА, ФОТОНИКА И ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ-2019»– Казань, 2019. – с.391-394.

OPTICAL SYSTEM OF LASER BEAM FORMATION WITH UNIFORM INTENSITY

Cheplakov A.
alexandr.cheplakov@gmail.com
Supervisor: N. Pavlycheva, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

This work is devoted to the study of the possibility of correcting the intensity of the laser beam using a two-component optical system due to spherical aberration of the first component. Different variants of Galileo's telescopic scheme are considered.

ПОДСЕКЦИЯ 5.4

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ И МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА В АВИА- И МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 658(075.8)

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАШИН ХОЛОДНЫМ ЖЕЛЕЗНЕНИЕМ

Аскаров И.Р.[1], Шакиртов А.И.[2]
Ilshat.askarov.96@mail.ru, Ilnur71@inbox.ru
Научный руководитель: А.Я. Аскарова, канд. техн. наук, доцент
([1]Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, Москва,
[2]Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В работе описан технологический процесс железнения различными способами. Железнение ассиметричным переменным током имеет ряд преимуществ, одним из которых является возможность изменять механические свойства электролитического железа в нужную сторону.

Точность позиционирования в пространстве рабочих элементов машин в значительной степени зависит от точности геометрической формы шарнирных соединений. Как показывает практика, даже после непродолжительного срока эксплуатации на рабочих поверхностях шарнирных соединений появляются следы износа.

Разработано много способов восстановления изношенных деталей и среди них сравнительно большой удельный вес занимают гальванические покрытия. Обычно это никелирование, хромирование и железнение. Если никелированием можно восстанавливать детали с износом в несколько мкм и невысокой твердостью, хромированием детали до 0,3 мм на диаметр, то железнением от нескольких сотых до 2-3 мм на диаметр, и процесс происходит в 10-15 раз быстрее. Электролитическое железнение обычно применяют тогда, когда необходимо восстанавливать детали сложной конфигурации с большим износом.

Процесс железнения может осуществляться на постоянном и переменном токе. Железнение на постоянном токе имеет некоторые недостатки. Во-первых, обязательный подогрев ванны электролита и требования точного соблюдения технологических режимов часто тормозит внедрение этого способа в производственную практику. Во-вторых, электроосаждение железа и его сплавов не обеспечивает надежного сцепления осадка с основным металлом.

Если постоянный ток заменить ассиметричным переменным током, то все эти недостатки исключаются. Кроме того, при температуре электролита 18-25^{0}С появляется возможность регулировать твердость осадка от 18 до 62 ед. по шкале Роквелла.

Принципиальная электрическая схема ассиметричного переменного тока показана на рис.1.

В один полупериод ток проходит через сопротивление RI, а в другой полупериод - через сопротивление R2. Если RI=R2, то на выходе ток будет симметричный. Если RI > R2, то амплитуда тока, проходящего через сопротивление RI уменьшится. Так образуется ассиметричный переменный ток, являющийся разновидностью реверсированного тока. Ток, проходящий через сопротивление R2 называем анодной составляющей ассиметричного переменного тока или анодным полупериодом, а ток через RI соответственно, катодным полупериодом.

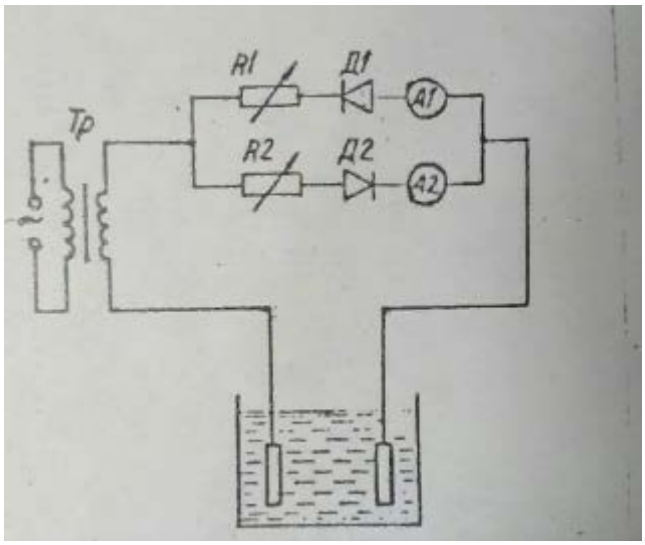


Рис. 1. Электрическая схема преобразователя для получения ассиметричного переменного тока
$T_р$ - однофазный трансформатов; Д1,Д2 - силовые диоды; R1, R2 - реостаты катодного
и анодного полупериода; А1,А2 - амперметры магнитоэлектрической системы

В катодный полупериод происходит осаждение металла, а в анодный его частичное растворение т.к. в анодный полупериод амплитуда тока всегда меньше тока катодного полупериода.

Один конец вторичной понижающей обмотки однофазного трансформатора подключается к анодным штангам гальванической ванны, а другой к двум противоположно направленным однополупериодным электрическим вентилям - диодам. К диодам подключены свои реостаты, регулирующие токи катодного и анодного полупериодов. Регулируя силу тока одного и другого направления можно добиться любого их отношения $\beta=I_k/I_a$.

При электролизе ассиметричным переменным током, меняя величину катодно-анодного отношения β, которое оказывает решающее влияние на механические свойства электролитического железа, а также на электрокристаллизацию осадков железа, можно проводить процесс электролиза более гибко.

Чем больше величина катодно-анодного отношения, тем структура осадков железа становится более мелкокристаллической. А также, если в начале электролиза проводить процесс железнения при β=1,3, а затем постепенно увеличивать величину до β=8-10, то внутренние напряжения осадка будут развиваться также постепенно, и отсутствие больших внутренних напряжений на пограничном слое дает возможность получать надежное сцепление осадка железа с любой маркой стали и даже чугуна.

Экспериментальные работы показали, что величина катодно-анодного отношения также влияет на микротвердость осадка железа. На рис. 2 видно, что при плотностях тока 10, 20 и 30 А/дм^2 ход кривой твердости идет по одному и тому же закону: твердость вначале возрастает с повышением величины β, затем при β=8 ее рост прекращается и при дальнейшем повышении β, твердость остается неизменной.

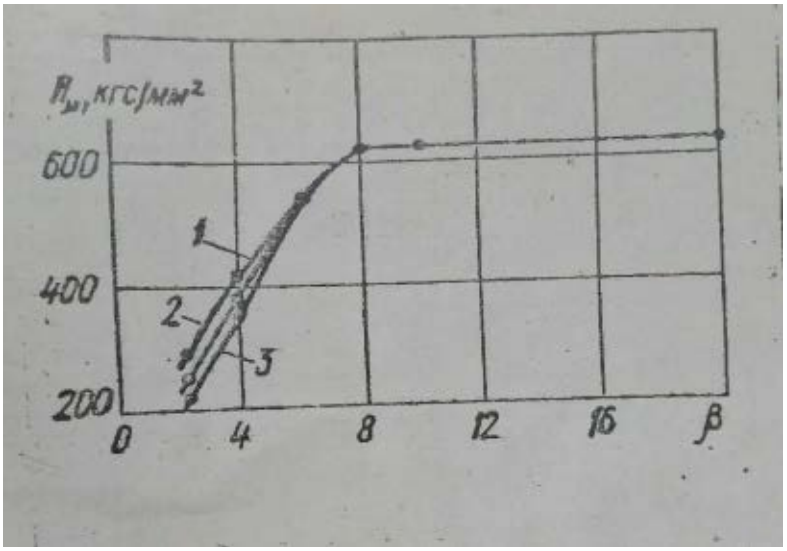


Рис. 2. Зависимость микротвердости осадка электролитического железа
от величины катодно-анодного отношения β 1 - $Д_к$ = 30 А/дм^2, 2 - $Д_к$ = 20 А/дм^2, $Д_к$ = 10 А/дм^2

Была также получена зависимость износа образцов от величины катодно-анодного отношения при двух нагрузках: 100 кгс и 150 кгс (рис.3). Чем больше величина β, тем выше износостойкость покрытия. Наибольшая износостойкость достигается при β = 8. При последующем увеличении β, износостойкость несколько понижается.

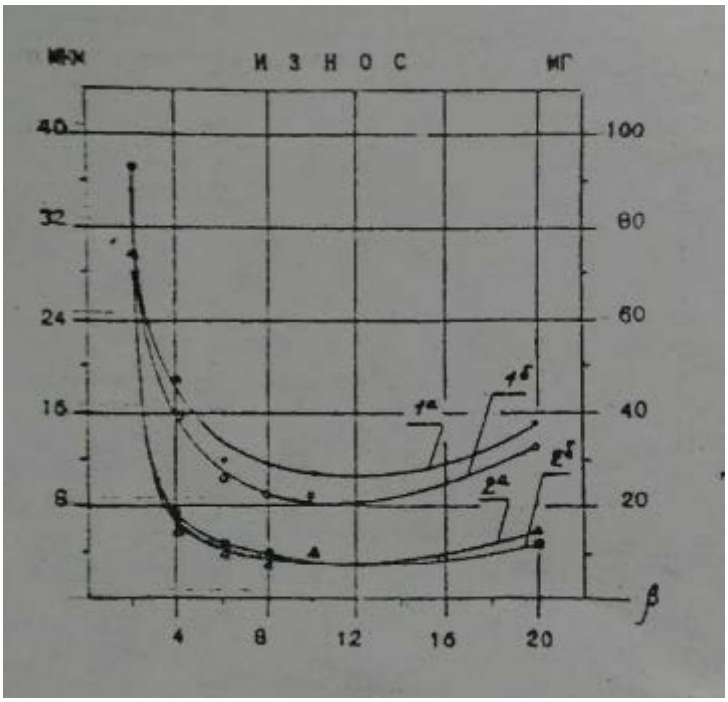


Рис. 3. Зависимость износа электролитического железа от величины катодно-анодного
отношения β $1^а$, $1^б$ - при нагрузке 150 КГС; $2^а$, $2^б$ - при нагрузке 100 КГС;

Таким образом, применение ассиметричного переменного тока дает возможность изменять в нужную сторону механические свойства электролитического железа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Молодык Н.В., Зенкин А.С.* Восстановление деталей машин. М.: Машиностроение, 1989. 480 с.

2 *Грилихес С.Я., Тихонов К.И.* Электролитические и химические покрытия. Л.: Химия, 1990, 288 с.

3 Ресурсы сети Internet.
4. *Попилов Л.Я.* Советы заводскому технологу. Справочник. Изд.Лениздат, 1975, 182с.
5. *Воловик Е.Л.* Спрвочник по восстановлению деталей. М.:Колос, 1981, 351с.

INCREASE OF WEAR RESISTANCE OF SWIVEL JOINTS OF MACHINES BY COLD IRON

Askarov I.[1], Shakirtov A.[2]
Ilshat.askarov.96@mail.ru, Ilnur71@inbox.ru
Supervisor: A. Askarova, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor
([1]Moscow state technical University. N. Uh.Bauman, Moscow
[2]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The paper describes the technological process of ironization in various ways. Iron asymmetric alternating current has a number of advantages, one of which is the ability to change the mechanical properties of electrolytic iron in the right direction.

УДК 006.027

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ

Булатова Е. А., Павлова А. А.
yekaterina.bulatova2015@gmail.com, annetapav2499@gmail.com
Научный руководитель: А. И. Сойко, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В статье проанализированы основные проблемы метрологического обеспечения в сфере здравоохранения в авиации. Обозначены пути возможного решения существующих проблем на основе Стратегии об обеспечении единства измерений до 2025 года и других законодательных актов.

В настоящее время общее количество средств измерений (далее - СИ) составляет около 1,5 млрд. единиц, из них около 150 млн. единиц в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, не малую часть из которых занимают средства измерения медицинского назначения (далее – СИМН). По мере увеличения численности медицинских учреждений количество эксплуатируемых СИМН постоянно возрастает. Только за 2010 год было зарегистрировано более 45 тысяч единиц [1, 2].

Целью данной работы является выявление существующих на данный момент проблем в области обеспечения единства измерений в сфере здравоохранения, в том числе, относящиеся к авиации.

Каждый человек, относящийся к профессии, связанной с авиацией: пилоты, бортпроводники, штурманы, бортинженеры, бортмеханики, а также кандидаты, поступающие в учебные заведения гражданской авиации, выпускники и курсанты данных учебных заведений, обязаны своевременно проходить медицинский осмотр. По результатам медицинского осмотра врачом авиационного предприятия выносится решение о допуске к полетам, работе по УВД, работе бортпроводником и бортоператором.

В кабинете специалиста применяется большое количество МИ, в том числе СИМН: весы медицинские, спирометр, динамометр, секундомер, сфигмоманометр (тонометр), медицинский термометр, аудиометр и др.

Даже небольшое отклонение от нормы недопустимо при определении годности к полетам и работе на борту самолета, поэтому приборы, используемые врачом, должны быть предельно точными и не давать сбоев в работе [3].

Во многом от достоверности показаний СИМН зависит правильность поставленного

врачом диагноза, а также жизнь человека в экстренных ситуациях, требующих немедленного принятия решения. Здравоохранение является одной из важнейших сфер, на которые в соответствии с №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерения» распространяется государственный метрологический надзор. Важной целью данного закона является обеспечение потребности граждан, общества и государства в получении объективных, достоверных и сопоставимых результатов измерений, используемых в целях защиты жизни и здоровья граждан [4].

Метрологическое обеспечение измерений в медицине включает в себя: эталонную базу, средства измерений (контроля), нормативные документы (НД), методики измерений (МИ).

Очевидно, на данный момент решены далеко не все проблемы в области метрологического обеспечения медицинской аппаратуры. На конференции 2018 года, посвященной современной медицинской организации, впервые в одном из блоков актуальных вопросов главным метрологом ВНИИМТ Росздравнадзора была поднята проблема метрологии в сфере здравоохранения. Так, в докладе [5] он отметил проблему отсутствия согласованности между Росстандартом и Министерством здравоохранения. Данные препятствия и разногласия непосредственно сказываются на результате работы врача. Кроме [4] руководствуются также рядом нормативных правовых актов №323-ФЗ от 21.11.2011 [6] и приказами МЗ РФ №89 от 15.08.2012 и № 81н от 21.02.2014 [7, 8].

Известно, что при создании нормативных документов разработчик должен учитывать законодательные требования и ссылаться на них. Однако в приказе Минздрава №89 [7] не упоминается закон №102-ФЗ. Оставался открытым вопрос и о метрологическом контроле состояния методик измерений (МИ), у которых измерительная функция не является основной. Лишь после публикации Приказов Минздрава №81н и №89н было выпущено пояснительное письмо «Об отнесении к средствам измерений» [9], в котором был разъяснен вопрос о МИ, у которых измерение – не главная функция. Так, в перечень медицинских изделий, утвержденный приказом Минздрава №89н, они не включены, и при государственной регистрации не подлежат испытаниям в целях утверждения типа (инкубаторы для новорожденных, мониторы пациента, электрокардиографы и др.). Однако в правоприменительной практике значимость данных писем невелика.

В целях решения проблемы несогласованности существующих нормативных документов в настоящее время в Государственной Думе находится на рассмотрении законопроект «О медицинских изделиях», который призван урегулировать отношения в сфере обращения медицинских изделий и обеспечить тем самым качество, эффективность, безопасность медицинских изделий, а также законодательно определить компетенции Минздрава России, других министерств и ведомств в системе государственного контроля качества, эффективности, безопасности медицинских изделий на всех этапах обращения, что существенно облегчит работу метрологических служб в сфере здравоохранения [10].

Эталонной базе РФ, используемой для поверки СИМН, также необходима доработка и модернизация. На начало 2017 года по количеству признанных и опубликованных Международным бюро мер и весов измерительных возможностей, определяемых по результатам международных сличений эталонов, Российская Федерация занимает второе место в мире (1693), уступая лишь Соединенным Штатам Америки (2112), на третьем месте Германия (1572) [1].

В настоящее время эталонная база Российской Федерации насчитывает 164 государственных первичных эталона единиц величин и подчиненные эталоны в количестве более 62 тыс. (в том числе в медицинских измерениях), сведения о которых содержатся в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений [11]. Несмотря на достаточно широкую эталонную базу, наблюдается крайне неравномерное распределение эталонов высшего порядка по сферам метрологического обеспечения, также по данным [1]. Так разработка и выпуск стандартных образцов в России сегодня характеризуются низкими темпами их создания. Кроме того, средний возраст государственных первичных эталонов составляет около 11 лет: почти 30% из общего числа первичных эталонов морально и

технически устарели. Также в документе отмечается явно недостаточное для нужд промышленности количество стандартных образцов и полное отсутствие первичных референтных методик (методов) измерений. Так, например, в области функциональной диагностики для электрокардиографов, мониторов, измерителей артериального давления, пульсоксиметров специальных первичных эталонов вообще не имеется, и их прослеживаемость обеспечивается общетехническими государственными эталонами [11]. В области измерения температур также существует проблема недостаточного оснащения эталонной базы. На данный момент в государственный Реестр [11] входит 17 эталонов термометрии, из них к приборам, используемым в медицине, применима еще более малая часть.

Как итог, на данный момент нет достаточного количества эталонов высокого уровня, поверка допускает СИМН по формальным признакам, при этом не позволяет охватить сразу несколько показателей и не дает достоверного понимания точности оборудования.

Для того, чтобы достичь правильности измерительной информации, необходимо метрологически обеспечить новейшие измерительные приборы на самом современном уровне. На данный момент государство все больше внимания уделяет проблемам метрологии в здравоохранении, так, к 2025 году планируется увеличение обеспечения эталонами и МИ сфер государственного регулирования; упор ставится на развитие эталонной базы: первичные эталоны планируется заменить более современными, их средний возраст не будет превышать девяти лет; число первичных референтных методик к 2025 г планируется приблизить к 20 единицам [12].

Из-за постоянного расширения сферы влияния, совершенствования и обновления СИМН, а также роста требовательности к СИ, метрологические службы вынуждены расширять перечень обслуживаемых средств измерений, разрабатывать совершенно новые методики поверки.

Достоверность и точность результатов измерений достигается не только использованием поверенных средств измерений, но и методик измерений, которые обеспечивают установленные показатели точности. Методики измерений также, как СИ подлежат аттестации. Все это способствует увеличению объема работ в области здравоохранения для метрологических служб. В настоящее время аттестацию методик измерений осуществляют 167 аккредитованных юридических лиц и индивидуальных предпринимателей. В то время как в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений зарегистрировано более 24,7 тыс. аттестованных методик измерений [1].

Государственные научные метрологические институты и государственные региональные центры метрологии должны вести учет испытываемых, поверяемых средств измерений, стандартных образцов и аттестуемых методик и регулярно направлять сведения в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений, а также вносить их в базы данных автоматизированных информационных систем по обеспечению единства измерений. Однако на данный момент не существуют нормативные правовые акты, обязывающие юридические лица и метрологические службы передавать данные о проведенных поверках и калибровках в Росстандарт. Это приводит к невозможности отслеживания состояния СИ, а также значительно усложняет проведение статистических исследований.

По итогам все работы стоит отметить, что, несмотря на все существующие проблемы в области метрологии здравоохранения, в перспективе ведение совместной деятельности Минздрава и Минпромторга, будет способствовать решению большинства из них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Об утверждении Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года [Электронный ресурс]: распоряжение правительства РФ от 19 апреля 2017 года №737-р – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/420397087

2. Об утверждении Стратегии развития медицинской промышленности Российской

Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс]: приказ министерства промышленности и торговли РФ от 31 января 2013 года №118 – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/499019547

3. Об утверждении Федеральных авиационных правил "Медицинское освидетельствование летного, диспетчерского состава, бортпроводников, курсантов и кандидатов, поступающих в учебные заведения гражданской авиации" [Электронный ресурс]: Приказ Министерства транспорта РФ от 22 апреля 2002 года N 50 (с изменениями на с изменениями на 26 июня 2017 года) – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/901817251

4. Об обеспечении единства измерений [Электронный ресурс]: Федеральный закон с изменениями на 13 июля 2015 г. №102-ФЗ – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/902107146

5. IV Конференция «Актуальные проблемы современной медицинской организации» [Электронный ресурс]: Электрон. дан. – М.: Конгрессно-Выставочная Компания «ИМПЕРИЯ», 2018 г. – Режим доступа: http://imperiaforum.ru/blog/detail.php?ID=764

6. Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федеральный закон с изменениями на 6 марта 2019 года. №323-ФЗ – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/902312609

7. Об утверждении Порядка проведения испытаний в целях утверждения типа средств измерений, а также перечня медицинских изделий, относящихся к средствам измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, в отношении которых проводятся испытания в целях утверждения типа средств измерений [Электронный ресурс]: Приказ Министерства здравоохранения РФ от 15 августа 2012 г. N 89н – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/902365077

8. Об утверждении Перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, выполняемых при осуществлении деятельности в области здравоохранения, и обязательных метрологических требований к ним, в том числе показателей точности измерений [Электронный ресурс]: Приказ Министерства здравоохранения РФ от 21 февраля 2014 г. N 81н – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/499080279

9. Об отнесении к средствам измерений [Электронный ресурс]: Письмо Министерства здравоохранения РФ от 16 июля 2014 года №2059973/25-3. – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/420245556

10. О медицинских изделиях [Текст]: Проект федерального закона – Режим доступа: www.serconsrus.ru/images/doc/fz_o_med_izd.doc

11. Реестр государственных эталонов России [Электронный ресурс]: База данных по состоянию на 23 марта 2019 года – Росстандарт. – Режим доступа: http://fif.vniiftri.ru/DB/com/index.htm?RU,ETALON

12. *Никитин, Г. С.* Стратегия обеспечения единства измерений – будущее российской метрологии / Г. С. Никитин // Стандарты и качество. – 2017 г. - №9. – С. 10-13

CURRENT PROBLEMS OF METROLOGICAL SUPPORT IN HEALTH CARE

Bulatova E., Pavlova A.

yekaterina.bulatova2015@gmail.com, annetapav2499@gmail.com

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

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

The article analyzes the main problems of metrological support in the field of health care in aviation. The ways of the possible solution of the existing problems on the basis of the Strategy on ensuring the uniformity of measurements up to 2025 and other legislative acts are indicated.

УДК 005.3

РОЛЬ РУКОВОДИТЕЛЯ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИИ

Галимзянова Э.Б., Мавликиева А.Р.
egalimzyanova98@mail.ru, alyamavlikieva@mail.ru
Научный руководитель: А.Т. Козлова, канд. экон. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Внедрение СМК сложный и трудоемкий процесс, включающий в себя целый комплекс работ. В России немногие предприятия сознательно применяют СМК в своей деятельности. Большинство российских руководителей не понимают какую пользу можно получить от применения СМК. В данной статье рассмотрены особенности системы менеджмента качества, а также выявлена роль руководителя во внедрении и функционировании системы менеджмента качества организации.

Система менеджмента качества представляет собой систему менеджмента для руководства и управления организацией применительно к качеству, которая может осуществляться через системные и процессные подходы [1]. Внедренная СМК позволяет организации определить бизнес-процессы, что является залогом успешной работы компании, будь то салон красоты, доставка цветов, крупный завод или предприятие тяжелой промышленности. При правильном внедрении СМК растет конкурентоспособность организации на рынке, а наличие сертификата соответствия ИСО 9001 дает предприятию больше шансов стать более заметным на международном уровне. Эффективная деятельность организации невозможна без правильно организованной системы менеджмента качества. Основную роль при внедрении и улучшении СМК играет руководитель организации.

Существует несколько причины, почему именно генеральному директору следует возглавить систему менеджмента качества организации:

1. Успех фирмы зависит от степени удовлетворенности потребителей, а потребитель в первую очередь заинтересован в дешевой, но качественной продукции, а производитель стремится к получению большей прибыли. Поэтому руководитель должен взять на себя заботу о главном- прибыли организации, а, следовательно, и качестве продукции.

2. Инвестирование в качество может снизить себестоимость продукции за счет повышения качества работы персонала и процессов, а это вопросы, которые должен решать директор. Ведь только руководитель организации может предоставить необходимые ресурсы (денежные средства, квалифицированный персонал, технологии и инфраструктуру) для качественного осуществления процесса.

3. Задачей высшего руководства является обеспечение "собираемости" процессов, создание из организации "единой команды", которая на бесконфликтной основе решает единые для всех задачи.

Самая распространенная практика в России – это формальный подход к СМК, так называемый «рынок сертификатов», то есть СМК функционирует сама по себе, а компания сама по себе, так как руководитель не придает большого значения нюансам управления и, прежде всего, идеологической работе, и в связи с этим сотрудники также не заинтересованы в успехах фирмы.

Чтобы СМК функционировало не формально, присутствие руководителя только как заинтересованного лица может и не хватать. Для этого нужно приложить немало усилий.

Интерес руководителя, его ориентация на постоянное совершенствование и соблюдение международных стандартов — это самое важное при внедрении системы менеджмента качества.

Руководителю не обязательно анализировать и держать все проблемы качества у себя в голове. Следует произвести распределение проблем среди персонала. Для этого необходимо распределить полномочия в организации, где персонал будет взаимодействовать друг с другом без прямого вмешательства руководства [2]. Руководитель создает систему

менеджмента качества и работает над ее совершенствованием, а люди работают в системе.

Продукция директора - это управление и управленческие решения. К тому же, ответственность за качество конечной продукции лежит на директоре, но инструментом, которым он реализует свою ответственность, является система менеджмента качества.

Служба качества организации имеет простую иерархическую структуру. К службе качества организации относятся зам. Генерального директора по качеству, начальник службы качества, специалисты по качеству, внутренние аудиторы, которые подчинены непосредственно генеральному директору.

Генеральный директор работает над улучшением СМК на основании отчетов о результативности СМК, которые подготавливает представитель руководства в области качества на основании результатов внутреннего аудита.

Внутренних аудиторов может быть немного, и они могут занимать любые должности в организации, но когда проводится аудит, все сотрудники должны подчиняться им. Руководитель в свою очередь должен поднять статус аудиторов и поддерживать его на высоком уровне. Сотрудники организации должны знать, что аудиторы - это сотрудники, которым генеральный директор лично делегировал полномочия проверок. Генеральный директор должен обязать своих руководителей на период проверки подчиняться аудиторам. Также следует помнить, что аудитор — это не инспектор, и его задача не искать виновных, а выявлять имеющиеся несоответствия и предпринимать меры по их устранению, путем назначения корректирующих и предупреждающих действий.

Существуют различные системы управления качеством, которые должны обеспечивать возможность реализации восьми ключевых принципов системного управления качеством, освоенных передовыми международными компаниями. Эти принципы составляют основу международных стандартов в области управления качеством ИСО (ISO) серии 9001.

Внедрение системы управления качеством ИСО 9001 является делом добровольным, и руководство компании вправе решать, нужно это им или нет. Но необходимо понимать, что внедрение будет максимально эффективным только в том случае, если оно является стратегически выверенным и хорошо обдуманным решением высшего руководства компанией.

Согласно ИСО 9001-2015 роль высшего руководства за создание и развитие системы менеджмента качества увеличена. Данный раздел называется «Лидерство» [3]. Высшее руководство должно демонстрировать лидерство и приверженность в отношении системы менеджмента качества, поддерживая сотрудников, чья деятельность связана с улучшением системы менеджмента качества, поддерживая других соответствующих руководителей в демонстрации ими лидерства в сфере их ответственности, а также доводя до сотрудников важность выполнения требований СМК.

Роль руководителя в системе менеджмента качества организации заключается в установлении связи между процессами организации и компетенцией сотрудников, а также в создании условий для вовлеченности персонала, благодаря его лидерским качествам [4].

Руководство организации изначально должно обеспечить принятие обязательств по разработке и внедрению системы менеджмента качества, а также постоянное улучшение её результативности посредством: разработки политики в области качества, обеспечение разработки целей в области качества, проведение анализа, обеспечение необходимыми ресурсами.

Цели в области качества должны быть измеримыми и согласуемыми с политикой в области качества. Для обеспечения достижения целей на плечи руководства ложатся следующие обязанности:

- планирование создания и развития системы менеджмента качества;
- сохранение целостности системы менеджмента качества при планировании и внедрении в неё изменений.

Уильям Деминг определяет лидерство как «метод работы, имеющий целью помочь работникам выполнять их работу наилучшим образом».

С точки зрения Г. Кунца и С. О'Доннела, «если подчиненные руководствуются только правилами и потребностями, установленными руководством, они могут работать примерно на 60 - 65% своих возможностей, просто выполнять свои обязанности достаточно удовлетворительно, чтобы удержаться на работе. Чтобы добиться полного использования способностей подчиненных, руководитель должен вызвать у них соответствующий отклик, осуществляя лидерство. Это достигается с помощью различных средств, причем в основе их всех лежат потребности подчиненных» [5].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что вовлеченность, заинтересованность и лидерские качества руководителя компании играют главную роль во внедрении, функционировании и улучшении СМК, для этого необходимо постоянное личное участие в этом процессе руководителя организации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/1200124394/ (дата обращения 26.05.2019)

2. Роль руководителя в системе менеджмента качества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/rol-rukovoditelya-v-sisteme-menedzhmenta-kachestva/ (дата обращения 27.05.2019)

3. Лидерство руководства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://1cert.ru/vopros-otvet/chto-novogo-o-liderstve-rukovodstva-est-v-standarte-iso-9001-2015/ (дата обращения: 27.05.2019)

4. *Воскобойников В.* Новые подходы к управлению качеством продукции. Экономика и жизнь/ В. Воскобойников — М.: Сертификация, 1993. — №50. — 15 с.

5. Лидерство в организации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://proftests.ru/lib/b7/4_4.htm/ (дата обращения: 29.05.2019).

MANAGER'S ROLE IN THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

Galimzyanova E., Mavlikieva A.

egalimzyanova98@mail.ru, alyamavlikieva@mail.ru

Supervisor: A. Kozlova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

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

The implementation of the QMS is a complex and time-consuming process, which includes a whole range of works. In Russia, few enterprises deliberately apply QMS in their activities. Most Russian managers do not understand what benefits can be obtained from the use of the QMS. This article discusses the features of the quality management system, as well as the role of the manager in the implementation and functioning of the organization's quality management system.

УДК 621.6.022

УСТАНОВКА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ГАЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА

Гетман П.В., Мингалеев А.В.

getman.rab@gmail.com, aydarmv@gmail.com

Научный руководитель: А.В. Щелчков, д-р техн. наук, профессор

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

В данной работе была спроектирована установка измерения расхода газа и калибровки средств измерения расхода газа. Проведен сравнительный анализ средств измерений расхода. Выполнен расчет сопел Лаваля, которые будут использоваться в приборе для измерения расхода газа, был спроектирован сам прибор, а также выбран необходимый диапазон объемного расхода, который будет воспроизводится на нем. Рассчитаны и

спроектированы сопла, которые будут использоваться в приборе. Произведена калибровка сопел с помощью Государственного первичного эталона единиц объёмного и массового расходов газа ГЭТ 118-2017. Была рассчитана общая относительная погрешность прибора для измерения расхода, которая соответствует действующим нормативным документам. Спроектирована установка для измерения расхода газа, которая бы включала в себя прибор для измерения расхода газа и экспериментальный рабочий участок для исследования процессов тепломассообмена в трактах теплообменного оборудования.

Введение

В современном мире отсутствуют исходные требования к точности измерений количества тепловой энергии. Поэтому до сих пор в значительной степени остается открытым и вопрос о тех погрешностях, которые могут быть допущены при оценках погрешности измерений количества тепловой энергии и теплоносителя. В свете данной проблемы была поставлена цель: разработка высокоточной установки измерения расхода газа для моделирования и изучения процессов тепломассообмена которая также может быть использована для калибровки расходомеров-счетчиков газа. [1]

Анализ актуальных средств измерения расхода газа

Важной частью установки измерения расхода газа для исследования процессов тепломассообмена (далее – установка) является прибор для измерения расхода (далее – прибор). Прибор должен быть спроектирован на основе наиболее точного средства измерения расхода газа. С целью определения наиболее подходящего для этого средства измерения был проведен анализ наиболее популярных средств измерений газа. Наиболее точными и распространенными средствами измерения газа являются: сужающие устройства, турбинные расходомеры, ротационные, вихревые и ультразвуковые.

Результаты анализа представлены в виде графика (рис. 1) зависимости относительной погрешности средства измерений от объемного расхода, где ряд 1 представлен сужающими устройствами, в частности, в рамках данной работы, соплами Лаваля, ряд 2 – турбинными расходомерами, ряд 3 – ротационными, ряд 4 – вихревыми и ряд 4 – ультразвуковыми.

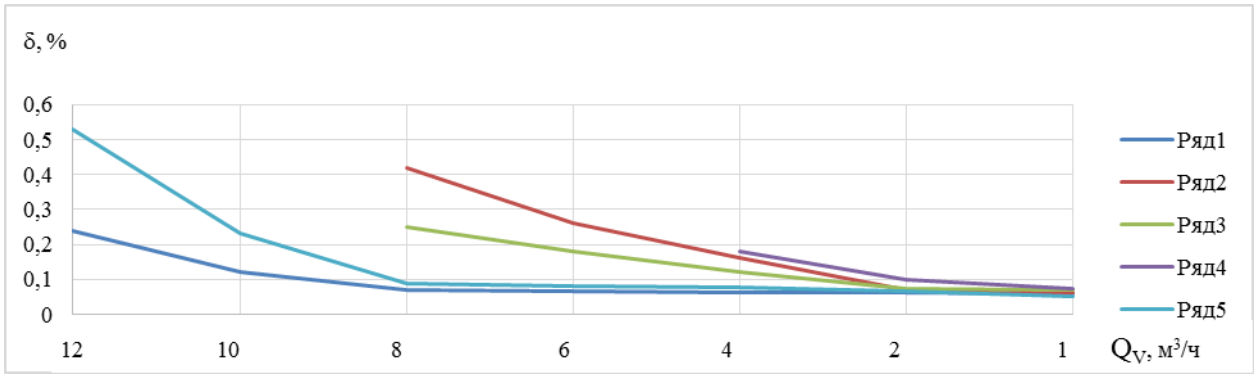


Рис. 1. График зависимости относительной погрешности средства измерения от показателя объемного расхода

Как видно из графика при низких показателях объемного расхода наименьший показатель относительной погрешности у сопел Лаваля. Именно они и будут использоваться в приборе, который входит в состав установки.

Проектирование установки измерения расхода газа

Чтобы уменьшить влияние пограничного слоя на поток в узких критичных сечениях сопел с небольшим расходом (16 м^3/ч и меньше) было принято решение использовать сопла Лаваля с тороидальным горлом. Использование такого вида профиля для всех используемых сопел облегчит расчеты.

В качестве рабочей среды был взят атмосферный воздух. Диапазон объемного расхода, воспроизводимого на установке, был взят от 0 до 127 м^3/ч. Для точных измерений было

принято решение использовать 7 сопел: сопло объемного расхода 1, 2, 4, 8, 16, 32 и 64 м^3/ч.

Критическое сопло должно удовлетворять требованиям, указанным на рис. 2. [2]

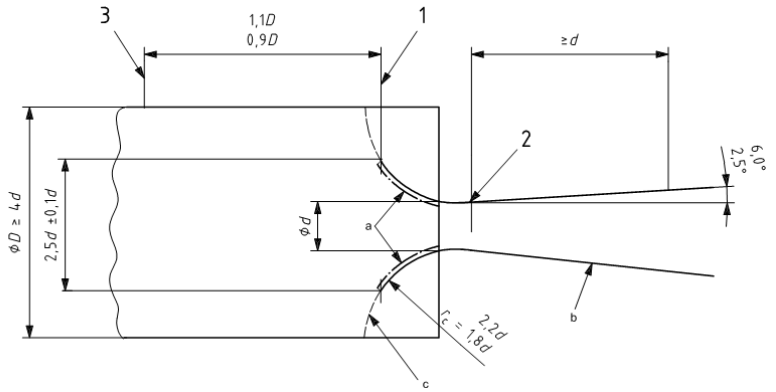


Рис. 2. Сопло Лаваля с тороидальным горлом:
1 – входная плоскость; 2 – пересечение тороидальной поверхности с расширяющимся участком;
3 – расположение устройства измерения давления; a – в данной области среднее арифметическое отклонение профиля Ra не должно превышать 15×10^{-6}, а профиль не должен отклоняться от тороидального более чем на ±0,001d; b – в данной области значения арифметического отклонения не должны превышать 10^{-4}d;
c – входная поверхность должна находиться снаружи относительно данного профиля

Расход газа зависит от скорости газа и площади поперечного сечения и для идеального газа находится по формуле:

$$q = \upsilon \cdot A_{nt}, \tag{1}$$

где A_{nt} – площадь поперечного сечения:

$$A_{nt} = d \cdot h. \tag{2}$$

Действительный массовый расход рассчитывается по одному из следующих уравнений:

$$q_m = \frac{A_{nt} C_d C_* p_0}{\sqrt{\left(\frac{R}{M}\right) T_0}} \tag{3}$$

или

$$q_m = A_{nt} C_d C_R \sqrt{p_0 \rho_0} \tag{4}$$

где A_{nt} рассчитывается по значению d.

Зная все параметры для воздуха формулу (4) можно упростить, получив, таким образом, приведенную формулу объемного расхода:

$$Q_V = 0{,}55 \cdot d^2, \text{ [м}^3\text{/ч]} \tag{5}$$

На основании формулы 5 вычисляется диаметр критического сечения сопла в зависимости от объемного расхода. Номенклатура сопел с указанием значений объемного расхода Q_v и диаметра критического сечения сопла d представлена в таблице 1. Номенклатура сопел выбрана из условия воспроизведения объемного расхода воздуха в диапазоне от Q_{min} = 1 до Q_{max} = 127 м^3/ч.

Таблица 1

Номенклатура сопел

№ п.п.	Объемный расход, Q_v, м^3/ч	Диаметр критического сечения, d, мм
1	1	1,3
2	2	1,9
3	4	2,7
4	8	3,8
5	16	5,4
6	32	7,6
7	64	10,8

Далее рассчитывается давление на входе сопло, необходимое для того, чтобы добиться сверхзвукового режима истечения. Определяется отношение давлений в среде истечения p_2 и перед соплом p_1:

$$\beta = p_2/p_1 \quad (6)$$

Сверхзвуковой режим истечения возможен только при $\beta < \beta_{кр}$, где:

$$\beta_{кр} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (7)$$

При чрезвычайно тщательной обработке горла и расширяющегося участка можно достичь отношений давления $\beta_{кр} = 0{,}95$ [2]. На государственном первичном эталоне единиц объёмного и массового расходов газа ГЭТ 118-2017 была произведена работа по определению действительного значения отношения давлений, которая составляет $\beta_{кр} = 0{,}8$. Атмосферное давление берется для нормальных условий и принимается равным $p_2 = 0{,}101$ МПа. В таком случае давление перед соплами должно быть $p_1 > 0{,}101/0{,}8 \approx 0{,}126$ МПа.

Зная это, принимаем, что давление перед соплами должно быть более 0,13 МПа для получения сверхзвукового режима истечения.

Прибор для измерения расхода представляет собой устройство, в корпусе которого находится набор из 7 сопел Лаваля. Включение в работу их комбинаций позволяет пропускать через установку большой диапазон объемного расхода газа со строго установленным показателем. Основными элементами корпуса расходомера является обечайка диаметром 131 мм и длинной 250 мм и расходный блок, представляющий собой две пластины DN125. Сопла располагаются таким образом, чтобы расстояние между осями сопел и расстояние от оси сопла до наружной стенки было не менее $5d$ [2]. Толщина стенки прибора, работающего под давлением $p \approx 0{,}13$ МПа берется равной 3 мм согласно ГОСТ 3262 [3]. По обоим сторонам корпуса предусматриваются фланцы DN50 для удобного соединения с трубопроводами. Фланцы проектируются согласно ГОСТ Р 54432 [4]. Расходный блок располагается на расстоянии 115 мм от стенки обечайки против хода воздуха.

Требуемое значение расхода через прибор устанавливается дискретно путем комбинирования набора сопел. Подключение и отключение каждого сопла производится с помощью пневматических поршней. Происходит это в автоматическом режиме благодаря системе автоматического контроля расхода, расположенного в контрольном щитке.

При помощи комбинаций сопел из выбранной номенклатуры обеспечивается монотонное изменение расхода воздуха через расходомер в диапазоне от 1 до 127 м^3/ч. Об этом свидетельствуют данные, приведенные на рис. 3, где по оси абсцисс отложены порядковые номера комбинаций n из всех возможных комбинаций семи сопел из таблицы 1, а по оси ординат - соответствующие этим комбинациям значения объемного расхода Q.

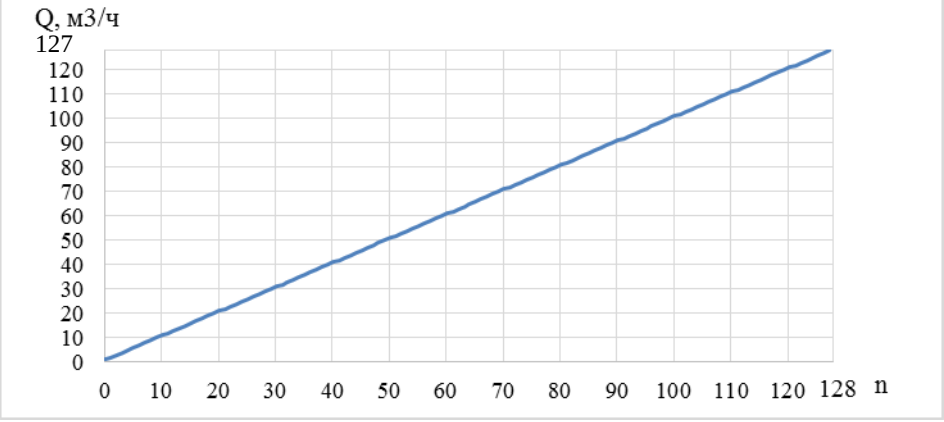


Рис. 3. Расчетная зависимость номера комбинации
от объемного расхода, воспроизводимого на установке

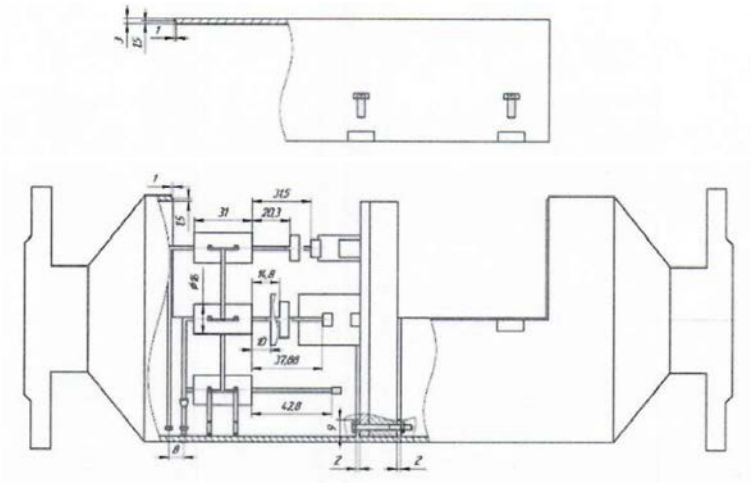
Монтаж прибора для измерения расхода производится следующим образом:

1) Сопла помещаются в посадочной пластине, после чего закрепляются фиксирующей пластиной и помещаются на посадочное место в корпус прибора. В корпусе прибора пластины с установленными в нее соплами закрепляются болтом, который проходит через борты посадочного места и сам расходный блок. Болт закрепляется гайкой.
2) Поочередно к своим местам относительно сопел крепятся пневматические поршни.
3) К корпусу с помощью болтов крепится съемная створка.
4) Прибор устанавливается на установке с помощью фланцев.

Сборочный чертеж прибора для измерения расхода представлен на рис. 4.

а)

б)



а – съемная створка, б – корпус.

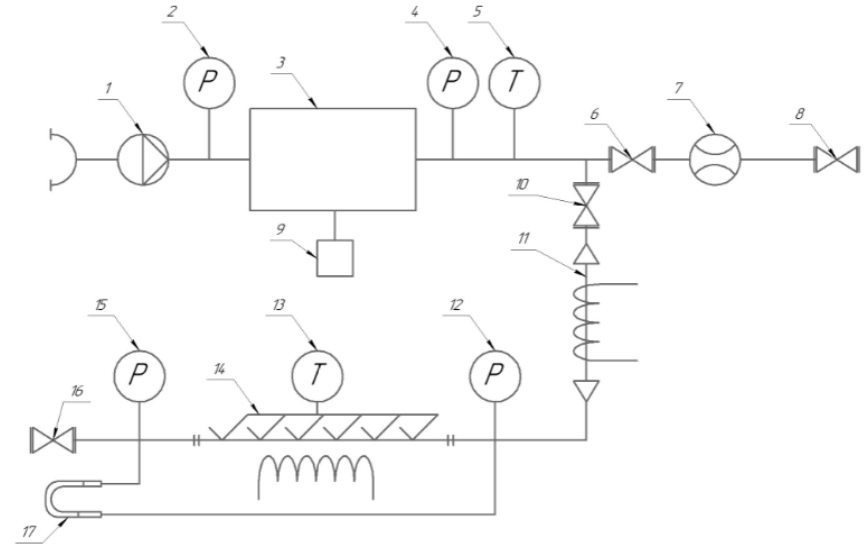
Рис. 4. Сборочный чертеж прибора для измерения расхода на базе критических сопел

В общем виде установка для измерения расхода представляет собой участок трубопровода. Воздух от компрессора идет на прибор для измерения расхода. Для контроля течения воздуха через сопла, установленные в приборе, перед ним и после него предусмотрены датчики давления. Проходя через прибор воздух с заданным параметром объемного расхода может идти либо на пост для калибровки средств измерения расхода, либо на рабочий участок для исследования процессов тепломассообмена. На трубопроводе перед рабочим участком предусмотрен расширяющийся участок трубопровода с термоэлектрическими нагревателями.

Принципиальная схема установки измерения расхода газа для исследования процессов тепломассообмена представлена на рис. 5. Основными элементами установки является компрессор 1, прибор для измерения расхода 3, место для установки калибруемого расходомера 7, расширенный участок трубопровода с нагревателем 11 и рабочий участок 14.

Благодаря высокой точности показателей объемного расхода, установка может быть использована для калибровки датчиков расхода. Для этого предусмотрен участок трубопровода с местом для установки калибруемых датчиков 7.

Нагрев воздуха до необходимой температуры на расширяющемся участке трубопровода 11 происходит благодаря пяти ТЭН-ам, вмонтированным в участок трубопровода. Рабочий участок для исследования процессов теплообмена представляет собой канал с осевыми входом и выходом. Канал препарирован термопарами в шести сечениях с наружной стороны канала.



1 - компрессор; 2, 4, 12, 15 - датчик давления, 3 - прибор для измерения расхода; 5, 13 - датчик температуры; 6, 8, 10, 16 - запорная арматура; 7 - калибруемый расходомер-счетчик; 9 - автоматическая система контроля расхода; 11 - участок трубопровода с нагревателем, 14 - рабочий участок, 17 - U-образный пьезометр.
Рис. 5. Принципиальная схема установки измерения расхода газа

Каждое сопло, которое будет использоваться в приборе для измерения расхода, нуждается в калибровке с целью определения действительных значений метрологических характеристик. Для этой цели может использоваться государственный первичный эталон единиц объёмного и массового расходов газа ГЭТ 118-2017 (ФГУП «ВНИИР»).

Процедура калибровки критических сопел состоит из следующих операций:

- подготовка к калибровке;
- внешний осмотр;
- проведение калибровки;
- расчет неопределенности измерений при калибровке;
- оформление результатов калибровки.

В результате калибровки определяется относительная неопределенность набора сопел. На основании полученных данных вычисляется относительная неопределенность всего прибора измерения расхода.

Заключение

На основании результатов теоретических расчетов была спроектирована установка измерения расхода газа, прибор для измерения расхода газа, экспериментальный участок, прибор для моделирования процессов тепломассообмена, а также пост для установки калибруемых средств измерений газа. Проведена калибровка сопел, используемых в приборе. Относительная расширенная неопределенность (К=2) прибора составляет 0,5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1 *Кузник И.В.* Метрологические проблемы измерений тепловой энергии в открытых системах водяного теплоснабжения / И.В. Кузник, М.Ю. Тиунов, В.А. Брюханов.

2 ISO 9300: 2005 (E). Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles.

3 ГОСТ 3262-75 Трубы стальные водогазопроводные. Технические условия.

4 ГОСТ Р 54432-2011 Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление от PN1 до PN200. Конструкция, размеры и общие технические требования.

GAS FLOW MEASUREMENT UNIT FOR STUDIES OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES

Getman P., Mingaleev A.
Getman.rab@gmail.com, aydarmv@gmail.com
Supervisor: A. Shchelchkov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

In this paper, a gas flow measurement unit was designed, as well as for calibration of measuring instruments. The comparative analysis of measuring instruments is carried out. The calculation of Laval nozzles, which will be used in the device to measure the gas flow, was designed by the device itself, and also selected the required range of volume flow, which will be reproduced on it. The nozzles to be used in the instrument have been calculated and designed. The nozzles were calibrated with the help of the State primary standard of units of volume and mass flow of gas get 118-2017. The total relative error of the flow meter, which corresponds to the current regulations, was calculated. A gas flow measurement unit was designed, which would include a device for measuring gas flow and an experimental working area for the study of heat and mass transfer processes in the paths of heat exchange equipment.

УДК 006.42

EMAS: ЧТО ЭТО И С ЧЕМ ЕГО ЕДЯТ?

Гибадуллина А.Р., Яппарова А.Ф.
gibadullina.alina98@gmail.com, yapparova.almira@yandex.ru
Научный руководитель: А.Т. Козлова, канд. экон. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Важным аспектом современности является экологическая проблема различных организаций промышленности. Выходом из этой ситуации является разработка добровольных экологических стандартов, таких как ISO 14000 и система EMAS.

Одной из важнейших проблем современного мира является ухудшение экологической ситуации под влиянием многих организаций промышленности. Всемирно признано, что решением данной проблемы служит введение систем экологического менеджмента (СЭМ) на основе экологических стандартов. Система экологического менеджмента помогает сохранять баланс между минимизацией негативного воздействия на окружающую нас среду и сохранением рентабельности. Сегодня у большого количества организаций существуют сертификаты международного уровня по экологическим стандартам. К ним, главным образом, относятся стандарты серии ISO 14000 и система EMAS.

ISO 14000 создан на основе стандарта BS 7750, разработанным Британским институтом стандартов BSI. Данный стандарт был показан миру Международной организацией по стандартизации в 1996 году. А уже сегодня, ISO 14000 используется множеством государств. Этот стандарт представляет собой:

- основной свод правил для проектирования и внедрения СЭМ;
- документы, позволяющие привести экологический менеджмент к максимальной результативности;
- комплекс правил, регулирующие специфические аспекты менеджмента.

Система EMAS создана и принята в Европейском союзе. Основной ее частью является Международный стандарт ISO 14000. Схема EMAS создана для того, чтобы предприятия и организации различных масштабов и отраслей смогли подтверждать свой экологический рейтинг. Данная система используется только на промышленных предприятиях газо-, водоснабжения, а так же электроэнергетики. В остальных же отраслях EMAS пока еще вводят только в виде эксперимента. В 1995 году появилась возможность сертификации по этой системе. И до сегодняшнего момента стандарт все еще не является всеобщим и применяется лишь в некоторых предприятиях. Для того чтобы внедрить схему EMAS должен

проводиться аудит деятельности организации независимым специалистом. Только после того, как организации будет дана положительная оценка, она сможет пройти регистрацию.

Система EMAS предусматривает 5 видов деятельности:

- разработка экологической политики и выпуск документа, который описывает склонность организации к достижению конкретных экологически значимых целей посредством решения определенных задач;
- оценка существующей ситуации, то есть установление характеристик деятельности, по отношению к которым будет оцениваться эффективность функционирования системы экологического менеджмента;
- формулировка конкретных задач, которые отвечают целям экологической политики предприятия;
- разработка экологической программы, которая детализирует пути и этапы решения поставленных задач;
- проведение экологического аудита для периодической проверки того, решаются ли необходимые задачи и ведет ли функционирование СЭМ к совершенствованию показателей деятельности организации.

Основными выгодами от внедрения СЭМ являются:

- снижение производственных и эксплуатационных расходов, образование меньшего количества отходов, маленькие потери энергии и ресурсов, снижение издержек, которые связаны с воздействием организации на окружающую среду;
- повышение конкурентоспособности организации на внутреннем и внешнем рынках;
- создание наиболее благоприятного имиджа организации среди общественности;
- устранение развития ЧС и аварий в организации, которые могут привести к загрязнению окружающей среды, а так же к финансовым потерям;
- минимизация риска привлечения организации к судебной ответственности;
- достижение реального улучшения экологических показателей;
- получение дополнительной прибыли, которая связана с экологическими аспектами деятельности предприятия;
- увеличение преимуществ в развитии отношений с отечественными и зарубежными партнерами;
- увеличение таможенных и налоговых льгот для экологически сертифицированных предприятий;
- льготные лицензирования подобных предприятий;
- снижение ставок страховых платежей и упрощение процедур экологического страхования.

Чем отличаются ISO 14000 и EMAS

Сегодня система EMAS – это наиболее совершенный и эффективный стандарт в мире, а ISO 14000 является его неотъемлемой и очень важной частью. Требования этих стандартов – равноправны и оба этих стандарта являются добровольными. Однако системе EMAS необходимо систематическое ведение экологической работы, а также регулярная публикация ее отчетности. В ISO 14000 не указываются обязательные требования к отчетности, а лишь предусматривается открытость политики компании. Система EMAS требует постоянного развития и совершенствования СЭМ организации как с помощью новейших разработок, так и с учетом экономической рентабельности.

ISO 14000 определяет взаимоотношения производителя и потребителя, в то время как поддержание стандартов EMAS интересует все общество в целом. Поэтому и его требования намного жестче в таких аспектах как:

- постоянное совершенствование экономического менеджмента;
- выполнение экологических стандартов под контролем госорганов;
- проверка с последующей публикацией результатов, которая проводится каждый год;
- тщательная проверка экологического менеджмента в организации;

• вовлечение в СЭМ каждого сотрудника организации.

Для более наглядного представления различий обратимся к таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ системы EMAS и стандарта ISO 14000

Название системы стандартизации	ISO 14000	система EMAS
Обязательность внедрения на предприятия	Добровольный характер	Добровольный характер
Стадии разработки и внедрения	1. Принятие экологической политики 2. Оценка существующей экологической ситуации на предприятии 3. Внедрение экологической системы управления 4. Проведение экологического аудита	1. Разработка экологической политики 2. Планирование 3. Внедрение и функционирование 4. Проведение проверок и корректирующих действий 5. Анализ со стороны руководства.
Международность системы стандартизации	Стандарт международный	Система применима только для стран Европейского Союза
Внешняя связь	Не требуется диалог с внешними сторонами; Внешняя отчетность не требуется	Открытый диалог с заинтересованными сторонами; Требуется внешняя отчетность
Периодичность сертификации	Раз в три года	Не проводится повторная сертификации
Периодичность аудиторской проверки	Раз в 6, 9 или 12 месяцев	Раз в 1,2 или 3 года
Публикация экологических документов	Экологическая политика организации	Полная экологическая отчетность о природоохранной деятельности предприятия

Таким образом, в заключении можно сказать, что в результате проведенного сравнительного анализа между стандартом ISO 14000 и системой EMAS нельзя сделать однозначный выбор в пользу одной из систем стандартизации. Каждая организация должна подходить к данному выбору исходя из своих возможностей и требований. Если для организации преобладающим фактором при внедрении СЭМ является минимизация издержек, то целесообразно выбирать стандарт ISO 14000. Организации, для которой необходимо уменьшить периодичность аудитов и получить постоянный сертификат соответствия, чтобы не проходить процедуру сертификации каждые три года, стоит отдать предпочтение системе EMAS. Однако для организаций Российской Федерации применим лишь стандарт ISO 14000, так как система EMAS была разработана Евросоюзом и действительна лишь для стран участниц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ Р ИСО 14001-2016 Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.- Взамен ГОСТ Р ИСО 14001-2007; введ. 2017-03-01. – 32с.

2. *Сирина Н. В., Потапова Е. В., Якимова Е. М.* Экологический аудит: учебное пособие // Иркутск: изд-во Иркут ун-та, 2010 – 109 с.

3. *Eco-Management and Audit Scheme* [Электронный ресурс] -Электрон. текстовые дан. –

Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Eco-Management_and_Audit_Scheme, свободный

EMAS: WHAT IS IT AND WHAT DO I EAT?

Gibadullina A., Yapparova A.
gibadullina.alina98@gmail.com, yapparova.almira@yandex.ru
Supervisor: A. Kozlova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

An important aspect of modernity is the environmental problem of various industrial organizations. The way out of this situation is the development of voluntary environmental standards, such as ISO 14000 and the EMAS system.

УДК 339.138

SWOT – АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ КОРЕЙСКОЙ КОСМЕТИКИ

Гиззатуллина Г. З., Рябцева Л. В.
ms.sun.1998@bk.ru, lily140398@gmail.com
Научный руководитель: А.Т. Козлова, канд. экон. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Популярность корейской косметики возрастает с каждым днем. Почему это происходит и как добиться таких успехов другим странам? SWOT-анализ помогает определить преимущества и недостатки продукции корейской косметики. А анкетирование позволяет узнать какие средства использует молодежь в нынешнее время.

В настоящее время довольно резко возросла популярность корейской косметики по всему миру, на российском рынке, в частности. Почему так произошло и чем она лучше европейской? Все ли хорошо, как кажется, на первый взгляд? Для того, чтобы найти ответы на эти вопросы, нужно подробнее рассмотреть данную продукцию.

Современный мир не может обойтись без косметики. Нынешние стандарты красоты навязывают людям все больше средств по уходу за собой. Женщины и мужчины со всего света используют косметические средства различных брендов и категорий. Европейские и американские бренды закрепились на рынке косметики, однако сегодня выходит вперед корейская и захватывает данную сферу красоты. Популярностью корейских средств по уходу за собой является то, что она имеет природное происхождение с минимальным добавлением химии. А также в Азии не разделяют понятия лечебной и декоративной косметики в отличие от Европы, где она состоит из двух разных групп. Например, тональный крем, произведенный в Корее, обязательно будет иметь лечебные свойства. Использование лучших натуральных косметических ингредиентов, к которым относятся алоэ вера, зеленый чай, фильтрат улиточной слизи, натуральные масла, альфа-гидроксикислоты, натуральные масла, экстракты восточных трав, столетиями использующиеся в восточной медицине, - все это позволяет корейской косметике завоевывать растущую армию поклонников по всему миру.

Натуральный состав у косметических препаратов – это только один из множества преимуществ корейской косметики. К примеру, большое разнообразие оригинальных и новых ингредиентов в составах. Государство Кореи поддерживает отрасль косметики, инвестируя туда огромные деньги. На научном уровне создаются новые рецепты, разрабатываются и тестируются инновационные компоненты, причем на животных эти исследования давно не проводятся, для этого предназначены специальная аппаратура. В этой сфере корейцы постоянно делают открытия и успешно внедряют их в свое производство.

Следует отметить, что качество не зависит от цены. Натуральные, органические линии косметики есть как в самых доступных сегментах косметического рынка (массмаркет — Innisfree, Skinfood), так и в эксклюзивных (люксовые бренды типа Beyond, Su:m 37).

Также корейская косметика удобна в применении. Корейцы придумали различные способы для создания максимального комфорта при использовании этой продукции. Например, каждая сыворотка снабжена пипеткой, в баночку с кремами кладут лопаточку во избежание размножения микробов при контакте с кожей рук.

Средства косметики соответствуют своим характеристикам, и вы получаете тот эффект, на который рассчитывали. Зачастую увидеть результат можно уже после первого применения (это особенно характерно для ночных масок).

Еще одним плюсом является большой выбор товара для всех типов и расовых особенностей кожи, то есть корейская косметика подходит не только азиаткам, однако стоит индивидуально подходить к выбору продукции.

Корейская косметика выделяется наличием огромного сегмента мужской продукции. Например, у Tony Moly есть и исключительно мужская, причем крайне брутальная линия, в которой, в отличие от большинства европейских брендов, средств очень много: крем-камуфляж, шампунь в форме гранаты, тканевая маска цвета хаки для лица и тоник, похожий на гильзу.

Однако идеальных косметических средств не бывает, поэтому и корейская косметика имеет недостатки.

Антивозрастную косметику стоит подбирать с осторожностью и по советам специалистов. Из-за расовых особенностей женщин Азии и Европы результат применения антивозрастных средств может быть отнюдь не таким, как хотелось бы, так как процесс старения женщин азиатского и европейского типа значительно отличается.

Следует учитывать, что в состав корейской косметики зачастую входят отбеливающие компоненты. Поэтому данную продукцию необходимо рассматривать на основании особенностей кожи потребителя и желания получить такой эффект.

Вся косметика в целом, независимо от страны происхождения, может вызвать аллергию. Кожа каждого человека индивидуальна. Ни один врач не сможет с уверенностью сказать, что вызовет аллергическую реакцию. Тем более не все инструкции переведены хотя бы на английский язык и без знаний корейского тут не обойтись.

Также особенностью корейской косметики является их маркетинговая политика.

Во-первых, особенности упаковки. Их вид интересен и привлекателен. Продукция из Кореи примечательна тем, что все баночки, тюбики и другие тары декоративной и косметики по уходу очень милые, яркие и выделяющиеся на фоне строгих элегантных европейских аналогов. Зачастую именно упаковка цепляет покупателя в первую очередь.

Во-вторых, корейскую косметику рекламируют популярные артисты и актеры, так называемые айдолы, Южной Кореи. Люди, интересующиеся музыкой и кино этой страны, отдают предпочтение тем брендам, реклама которых связана с любимым исполнителем. Зачастую можно увидеть парней-айдолов в рекламе женской декоративной косметики. Таким образом корейцы стараются привлечь больше потребителей женского пола, и у них это неплохо получается.

Поскольку для корейцев очень важно чувство общности, на этом рынке хорошо работают персональные рекомендации. То есть жители Кореи сильно зависят от мнений лидеров. Новостной портал Adweek включает эту страну в ТОП-5 активно развивающихся рынков в сфере influencer marketing. Наиболее популярные площадки — Instagram, Facebook, YouTube. [1]

Существует псевдо-врачебная косметика, использующая медицинскую тематику. Нередко упоминается, что косметика была разработана с участием врачей-дерматологов и косметологов. Однако дерматологическая косметика — это еще один маркетинговый ход. Но это не значит, что она является не высококачественной, просто средства не будут сугубо лекарственными и не стоит ждать от нее большей эффективности, чем от любой другой. В названиях часто используется слово «доктор», а в дизайне упаковок ярко выражены медицинские мотивы – шприцы, капельницы, лабораторные колбы и мензурки, аптечные банки из темного стекла и вообще строгий дизайн, напоминающий лекарственные средства.

Данные маркетинговые подходы хорошо продвигают корейскую косметику по всему миру. Россию бум-интереса продукции из Кореи не обошел стороной. По данным корейского агентства содействия торговле инвестициям (KOTRA), российский розничный рынок косметики стремительно развивается, показывая ежегодные темпы роста в 6-12%. Российский рынок стал одним из перспективных направлений для развития бизнеса корейской косметики. По данным статистики, российские женщины, даже не смотря на кризис, тратят около 12% своего бюджета на покупку косметических товаров. Например, в Москве годовые продажи составляют 17% от общего количества продаж по России. Этот показатель один из самых высоких в мировом масштабе, что неизменно привлекает внимание производителей товаров красоты по всему миру.[2]

Стоит упомянуть, что корейская органическая косметика пока представлена только одиночными брендами. Конкуренция в предоставленном секторе с отечественными производителями может стать огромным препятствием на пути к завоеванию признания у российского покупателя. Поэтому для успешного продвижения на российский рынок, корейским компаниям следует увеличить инвестиции в рекламу, чтобы повысить интерес и узнаваемость у российского потребителя.

На основании успеха корейской косметики можно предложить российским аналогам использовать следующие улучшения:

1. Повысить натуральность продукции, избегая большого количества химии;
2. Проводить лабораторные исследования по разработке и улучшению новых компонентов;
3. Улучшить качество и внешний вид упаковки;
4. Создавать продукцию для потребителей любых возрастных групп, различных типов кожи и учитывать индивидуальную непереносимость компонентов;
5. Использовать популярных артистов, актеров и блогеров интернет площадок в рекламе для привлечения интереса к продукции.

Исходя из вышесказанного, можно составить SWOT-анализ корейской косметической продукции, который представлен в Таблице 1.

Таблица 1

SWOT-анализ корейской косметики

Strengths (Сильные стороны)	Weaknesses (Слабые стороны)
• Натуральный состав • Привлекательная яркая упаковка => Формирование узнаваемости компаний среди существующих и потенциальных клиентов • Качество не зависит от цены • Удобство в использовании • Сегмент мужской продукции	• Разница в расовых особенностях кожи • Большинство инструкций написаны на языке изготовителя – корейском • Многоступенчатая система ухода за кожей требует большое количество затрат времени и денег
Opportunities (Возможности)	Threats (Угрозы)
• Разнообразие специфических ингредиентов (Муцин улитки, экстракт ласточкина гнезда) • Возможность адаптированного перевода инструкций для экспортируемых стран • Экспорт в международный рынок • Массовое внедрение мужской косметики	• Возникновение аллергии на ингредиенты • Белые пятна на коже от отбеливающих компонентов • Ложное представление о продукции с медицинской атрибутикой на таре • Опасность приобретения поддельной продукции

Был проведен опрос среди 691 человека в социальной сети Вконтакте посредством электронного анкетирования на тему использования корейской косметики. Большинство анкетируемых из России (81,6%), Белоруссии (5,9%), Украины (5,5%) и Казахстана (4,5%). В опросе приняли участие лица в возрастной категории младше 18 лет (48,2%) и до 45+ (0,6%), из них преобладающим количеством являются женщины (99%). Выявлено, что 75,1%

респондентов используют корейскую косметику. Из них 38,5% предпочитают декоративную, а 88,6% - по уходу за собой. Лидером продаж оказалась продукция бренда Tony Moly (53%), не отстает и Holika Holika (43,5%), третье место – Missha (20,9%).[3]

Качество и натуральность состава должны поддерживаться при производстве корейской косметики, так как именно эти две составляющие, судя по опросу, привлекают покупателей. Сегмент мужской продукции не так очевиден для потребителя, это упущение как для продавцов, так и для производителей. Поэтому следует больше рекламировать мужскую линию корейского продукта.

Реализовать возможность в виде экспорта на международный рынок можно благодаря узнаваемости упаковки и отзывам за хорошее качество продукта. Когда форма и изображение тары становятся популярными, то для мирового рынка становится выгодным приобретать корейскую косметику. Например, так произошло с брендом Elizavecca, который ходит по сей день на слуху как «косметика с хрюшкой».

Преобразовать слабую сторону инструкций на корейском языке в сильную для производителя можно при помощи перевода их на международный язык, например, английский. Далее продавцы разных стран могут перевести инструкцию на свой язык. Это обеспечит удобство покупателям в выборе продукта.

Ложное представление о медицинских свойствах косметики с аптечной атрибутикой на упаковках можно пресечь благодаря разработке нормативных документов, запрещающих наносить медицинское изображение на неподтверждённых продуктах.

Опасность приобретения поддельной продукции можно избежать благодаря маркировке упаковок с кодом активации под защитным слоем, который необходимо стереть. Данный код можно будет проверить на сайте бренда и получить гарантию приобретения оригинала. С помощью этой схемы доверие покупателей растет и приумножает возможность повторного приобретения товара.

Таким образом, корейская продукция пользуется спросом у женского населения стран СНГ в возрасте от 12 и до 35 лет. Это аргументируется большим количеством сильных сторон и возможностей, а также малым присутствием слабых. Проведенный SWOT анализ убеждает, что популярность и конкурентоспособность корейской косметики растет с каждым днем, в свою очередь место производителя на мировом рынке укрепляется.

Список использованной литературы:

1. http://canarese22.rssing.com/chan-11876586/all_p62.html
2. https://business-platform.ru/projects/p28869/
3. https://docs.google.com/forms/d/1Ti93WdOhb4ag-DXWrq9BkcVCwpJEx8Rl7 VPekklzuIE/edit

SWOT - ANALYSIS OF THE ORGANIZATION ON THE EXAMPLE OF KOREAN COSMETICS

Gizzatullina G., Ryabtseva L.
ms.sun.1998@bk.ru, lily140398@gmail.com
Supervisor: A. Kozlova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The popularity of Korean cosmetics is increasing every day. How to succeed in other countries? SWOT analysis helps to identify the advantages and disadvantages of Korean cosmetics. The survey allows you to find out what tools young people use at the present time.

УДК 53.087.4

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДАТЧИКОВ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Гиматова К.В., Гурьянова П.С.
polina_gs@mail.ru
Научный руководитель: А.И. Сойко, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В статье представлена сравнительная характеристика датчиков пульсаций давления и методов измерения давления, представлено описание устройства и принципа работы датчиков, а также достоинства и недостатки методов. В результате анализа выявлен наиболее предпочтительный для поставленной задачи тип преобразователей давления.

Датчик давления как прибор имеет довольно обширный спектр выбора. Давление измеряемой среды, в нашем случае жидкости, в таких датчиках преобразуется в унифицированный пневматический, электрический сигналы или цифровой код.

При выборе конкретного датчика пульсаций давления жидкости следует учитывать ряд факторов и характеристик, влияющих на пригодность данного прибора в рамках конкретных условий поставленной задачи. К таким основным требованиям можно отнести:

- диапазон давлений;
- динамические и частотные диапазоны;
- возможность работы в условиях рабочих температур и окружающей среды;
- уровень чувствительности и точность регистрации давления.

Задача состоит в том, чтобы измерить давление и пульсации этого давления в ограниченном объеме жидкости. Для решения данной задачи необходимо знать, какой тип датчика использовать. Следовательно, целью работы является выбор оптимального датчика для измерения давления, который соответствовал бы необходимым требованиям.

Существуют различные методы измерения давления:

1. *тензометрический*: используется тензоэффект – изменение сопротивления чувствительных элементов датчиков при их деформации под действием давления;
2. *пьезорезистивный*: используется эффект изменения электрического сопротивления полупроводников под действием механической нагрузки;
3. *пьезоэлектрический*: используется пьезоэлектрический эффект, при котором кристаллы и керамика, на которые передается давление или прикладывается механическая сила, способны генерировать заряд;
4. *ёмкостной*: используется эффект, при котором ёмкость конденсатора изменяется в зависимости от расстояния между обкладками;
5. *резонансный*: используется эффект зависимости частоты собственных колебаний упругого элемента от давления, прикладываемого при его деформации;
6. *индуктивный*: принцип действия основан на регистрации вихревых токов Фуко, которые возникают в металлическом экране, расположенном между двумя катушками;
7. *ионизационный*: используется эффект зависимости плотности потока ионизированных частиц от разряжения в катодно-анодной лампе. [1]

На сегодняшний день среди рассмотренных методов наибольшее распространение получили тензометрические, пьезорезистивные и пьезоэлектрические датчики давления. Именно эти типы преобразователей давления являются объектом нашего изучения и дальнейшего сравнительного анализа.

Пьезоэлектрические датчики давления

В датчиках давления пьезоэлектрического типа чувствительным элементом служит пьезоэлемент, который генерирует электрический сигнал под действием деформации. Изменение генерируемого заряда прямо пропорционально мгновенному значению действующего на пьезоэлемент давления. Так как сигнал в датчике возникает только при

деформации, то в случае отсутствия прикладываемого давления пьезоэлектрик не будет генерировать сигнал, следовательно, датчик этого типа применяется только для замеров жидкости с быстро изменяемым давлением.

Можно выделить следующие достоинства пьезоэлектрических датчиков давления: широкий частотный диапазон, простота конструкции, малые габариты и масса, высокая чувствительность измерительного преобразователя. Они обладают хорошей вибрационной и ударной прочностью, могут использоваться в жестких условиях эксплуатации и обладают высокой надежностью.

Основным их недостатком является то, что в обычном исполнении они могут применяться только для измерения динамических давлений. Также большой минус пьезоэлектрических датчиков - большое выходное сопротивление и ограниченная длина выводного кабеля, от которого и зависит выходной сигнал.

Основные технические характеристики пьезоэлектрических датчиков пульсаций давления представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики пьезоэлектрических датчиков пульсаций давления

	Тип или серия	Диапазон измерений пульсаций давления, МПа	Частотный диапазон, Гц	Коэффициент преобразования, мВ/Па	Погрешность не более, %
	ЛХ610	0,005-0,5	3-10000	0,0035	±8
	ЛХ-604	0,05-5	10-10000	(40±25)·10^-5	±10
	ЛХ-608	0,05-5	10-10000	(40±25)·10^-5	±10
	ЛХ-611М	0,045-5,6	31,5-8000	20·10^-5	±10
	ЛХ-612М	0,045-5,6	31,5-8000	16·10^-5	±12
	ДХС 516	0,0002-0,063	10-10000	0,006	±0,00002 Па

Тензорезистивные датчики давления

Чувствительным элементом в тензометрических датчиках является мембрана с тензорезисторами, соединенными в схему моста. Они работают по принципу изменения электрического сопротивления, которое возникает при деформации тензорезисторов под действием приложенного давления измеряемой среды. Происходит прогиб мембраны и изменение сопротивления тензорезисторов, что приводит к разбалансу моста. Чувствительные элементы тензометрических датчиков пульсаций давления могут быть проволочными, фольговыми и полупроводниковыми. [2]

К основным достоинствам следует отнести высокую точность измерений, небольшие габариты, позволяющие использовать такие датчики практически в любых измерительных устройствах, защищенность чувствительного элемента от воздействия агрессивных сред. Тензорезистивные датчики подходят для измерения статических и динамических напряжений, при этом, полученные данные не претерпевают искажений.

Однако наряду с достоинствами существует и большой недостаток: любой преобразователь такого типа подвержен сильному влиянию температур, что приводит к снижению чувствительности. Для наиболее точного измерения требуется производить опыты только при комнатной температуре.

Основные технические характеристики тензометрических датчиков пульсаций давления представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные технические характеристики тензометрических датчиков пульсаций давления

	Тип или серия	Диапазон измерений пульсаций давления, МПа	Частотный диапазон, Гц	Коэффициент преобразования, мВ/Па	Погрешность не более, %
	Дав 077	0-0,125	0-500	-	±0,5
	Дав 068	0-0,125	0-250	-	±0,6
	Вт 220	0-0,125	0-200	-	±1
	ДАВ 084	0-0,16	-	-	±0,25
	ДАВ 088	0-0,16	-	-	±0,3
	Дон-17-ДА Модель 1042	0-0,1	-	-	0,25
	Дон-17-ДИ Модель 1145	0-0,1	-	-	0,25

Пьезорезистивные датчики давления

Действие пьезорезистивных датчиков пульсаций давления основано на применении пьезорезистивного эффекта, заключающегося в зависимости сопротивления полупроводника от воздействия механических напряжений. В данном случае используется интегральный чувствительный элемент на основе монокристаллического кремния.

Преимуществом датчиков с данным типом преобразователя является высокая стабильность характеристик, а также устойчивость к ударным нагрузкам. Кроме этого, следует выделить высокую точность измерения и возможность измерять давления различных агрессивных сред.

Недостатки пьезорезистивных датчиков практически аналогичны недостаткам тензометрических приборов: низкая чувствительность (2...5%), сильное влияние температуры (за счет изменения удельного сопротивления пьезорезисторов), существенное влияние статического давления, недостаточная стабильность, наличие нелинейности. [3]

Основные технические характеристики пьезорезистивных датчиков пульсаций давления представлены в табл. 3.

Таблица 3

Основные технические характеристики пьезорезистивных датчиков пульсаций давления

	Тип или серия	Диапазон измерений пульсаций давления, МПа	Частотный диапазон, Гц	Коэффициент преобразования, мВ/Па	Погрешность не более, %
	ДАЭ 103-1	0-0,25	-	-	±0,15
	ДДЭ 116	0-0,1	0-5000	-	±0,5
	ДДЭ 074	0-0,125	0-2000	-	±1-2
	ДДЭ 073	0-0,09	0-2000	-	±1-2
	ДДЭ 081	0-0,09	0-2000	-	±0,5-1
	ДДЭ 082	0-0,09	0-2000	-	±0,5-1

Данные таблиц с техническими характеристиками рассмотренных выше типов датчиков давления можно представить в графическом виде, используя циклограммы.

В ходе исследования был произведен анализ рынка датчиков давления, были найдены типы, модели датчиков давления с разными методами преобразования и их метрологические характеристики. Так же были выявлены достоинства и недостатки трех наиболее популярных типа преобразования давления. На основании данных сравнительного анализа датчиков пульсаций давления жидкости можем говорить, что наиболее удобным вариантом

представляется датчик с пьезорезистивным типом преобразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Распопов В. Я.* Микромеханические приборы: учебное пособие. - М.: Машиностроение, 2007. - 400с., ил.

2. *Тараканов С. А.* Датчики пульсовой волны для диагностики сердечно-сосудистой системы // Вестник новых медицинских технологий / Тараканов С. А., Кузнецов В. И., Рыжаков Н. И., Рассадина А. А., Гайдуков В. С. - 2013. - №1. – С. 257–260.

3. *Замалетдинова Э. Ю.* Сравнительные анализ методов измерения давления // Вестник казанского технологического университета / Э.Ю.Замалетдинова, А. И. Егорычев. - 2014. - № 8. - С.124−128.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF FLUID PULSE PRESSURE SENSORS

Gimatova K., Guryanova P.

polina_gs@mail.ru

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

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

The paper presents a comparative characteristic of pressure pulsation sensors and pressure measurement methods, a description of the structure and operating principles of the sensors, and also the advantages and disadvantages of the methods. The analysis revealed the most preferred type of pressure transducers for the task.

УДК 681.2.08

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ СОЗДАНИЯ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ОБЪЕМЕ С ЖИДКОСТЬЮ

Глухова Е. И., Воробьева Е. В.

Liza5_1998@mai.ru, elizaveta4155@mail.ru

Научный руководитель: А. И. Сойко, канд. техн. наук, доцент

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

В данной статье проведен теоретический анализ и расчет точности канала статического давления в устройстве для поверки средств измерений избыточного давления в объеме с жидкостью. В среде Matcad было определено оптимальное номинальное давление в объеме с жидкостью при различных значениях входного напряжения задатчика давления.

Устройство для создания опорного давления в некотором объеме, заполненном жидкостью, часто используется в технике измерений статического давления при проведении поверки и калибровки средств измерений избыточного давления. Важное значение приобретает анализ составляющих погрешности при его создании, поскольку они определяют точность передачи размера единицы давления поверяемому средству измерения. Различные варианты исполнения объемов в устройствах для создания опорного давления можно найти в работах [1-5]. Отличительной особенностью разрабатываемого устройства является точное поддержание давления в объеме с жидкостью с компенсацией погрешностей задаваемого опорного давления, обусловленного внешними влияющими факторами, что отсутствует у имеющихся прототипов.

Целью работы является анализ точности измерения опорного давления в объеме с жидкостью.

Устройство для создания опорного давления в объеме с жидкостью, показанное на рис. 1, состоит из объема 1 с жидкостью, с одного торцевого конца которого установлен элемент создания давления 4, а к другому подключено поверяемое средство измерений. При

отклонении давления в объеме 1 с жидкостью от внешнего давления, определяемое датчиком и измерителем внешнего статического давления 3, штоком 5 задатчика давления создается такое усилие F на элемент создания давления 4, которое позволяет уравновесить их значения. Задатчик давления выполнен в виде последовательно соединенных привода 6 и генератора давления 7, связанного с блоком сравнения и управления 8. Во внутренней полости цилиндра установлен датчик и измеритель давления 2, который обрабатывает поступающую измерительную информацию и передает сигнал устройству сравнения 9, который, формируя разность его показаний с датчиком и измерителем внешнего статического давления 3, передает сигнал блоку управления и сравнения 8.

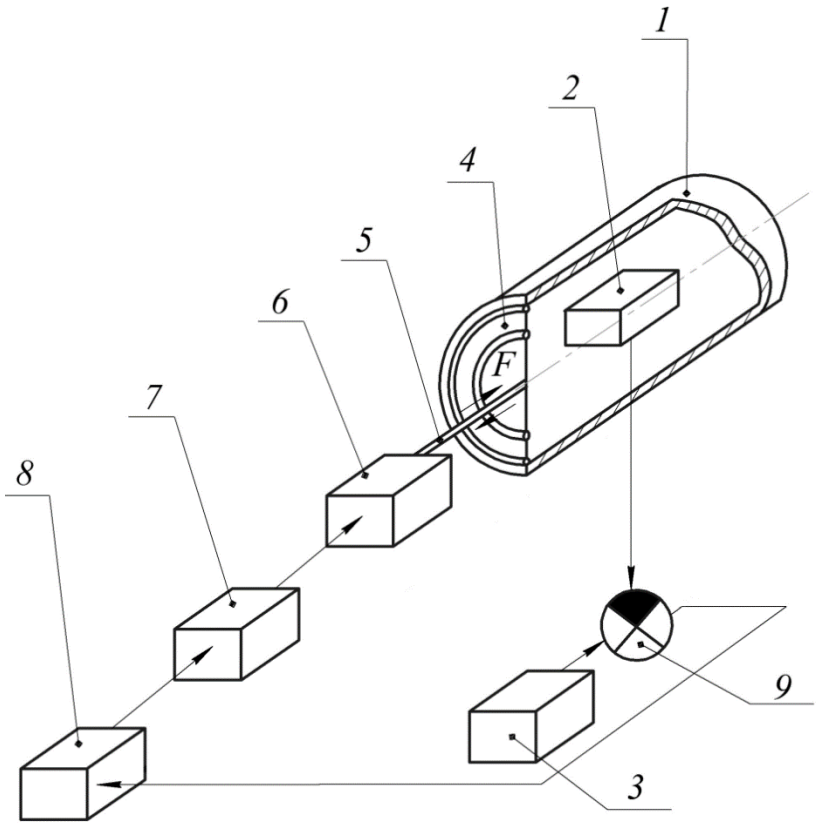


Рис. 1. Устройство для создания опорного давления в объеме с жидкостью

Теоретическая оценка точности и анализ составляющих измерения опорного давления в объеме с жидкостью представлены с позиции рассмотрения статических характеристик связанных звеньев, входящих в ее состав (рис. 2).

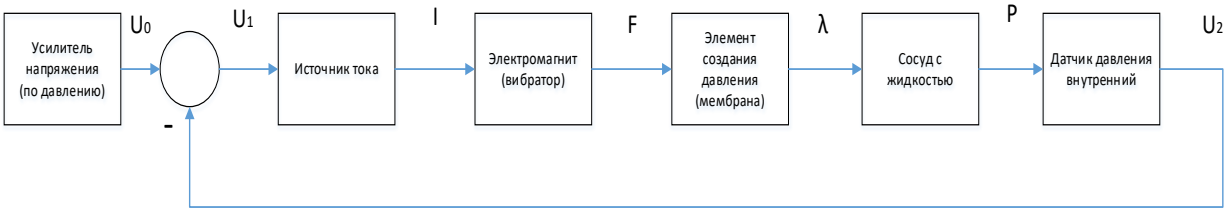


Рис. 2. Структурная схема устройства для создания опорного давления в объеме с жидкостью

На рис. 2 введены следующие обозначения: U_0 – начальное напряжение, задаваемое блоком управления; U_1 – выходной параметр напряжения первого звена; I – параметр тока на выходе генератора колебаний; F – усилие, создаваемое электромагнитом; λ – прогиб мембраны; P – давление в сосуде; U_1 – выходное напряжение, генерируемое датчиком и измерителем статического давления.

Выходная величина каждого отдельно взятого звена может быть представлена в виде:

$$X = X_{\text{ном}} + \Delta_x, \quad (1)$$

где $X_{\text{ном}}$ – часть выходного сигнала, определяемого входной величиной и номинальной функцией преобразования;

Δ_x – абсолютная погрешность на выходе отдельного преобразователя.

Напряжение, создаваемое усилителем, можно представить в виде:

$$U_0 = K_{\text{усил}} \cdot U_{зад} + \Delta_{\text{усил}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{усил}}$ – коэффициент преобразования усилителя;

$\Delta_{\text{усил}}$ – абсолютная погрешность, определяемая характеристиками усилителя.

Напряжение U_1, являясь входом в следующий блок, преобразуется в параметр тока. Сила тока I является функцией от напряжения и равна:

$$I = K_I \cdot U_1 + \Delta_I \quad (3)$$

где K_I – коэффициент преобразования генератора колебаний;

Δ_I – абсолютная погрешность, определяемая характеристиками генератора.

Подставляя найденное выражение напряжения (2) в формулу силы тока (3), получим:

$$I = K_I \cdot K_{\text{усил}} \cdot U_{зад} + K_I \cdot \Delta_{\text{усил}} + \Delta_I \quad (4)$$

Выходом из следующего элемента – электромагнита является параметр электромагнитной силы, выряженной по формуле:

$$F = \frac{1}{2}(I \cdot \omega)^2 \cdot \left[\left| \frac{\partial G_\delta}{\partial \delta} \right| + g \left| \frac{l_a}{l_k} \right| \right] \quad (5)$$

Однако, учитывая, что выходная величина каждого звена рассчитывается по (1), уравнение электромагнитной силы примет вид:

$$F = K_{\text{м}} \cdot I^2 + \Delta_F \quad (6),$$

где $K_{\text{м}} = \frac{1}{2} \cdot \omega^2 \cdot \left[\left| \frac{\partial G_\delta}{\partial \delta} \right| + g \left| \frac{l_a}{l_k} \right| \right]$ – коэффициент преобразования электромагнита;

Δ_F – абсолютная погрешность, определяемая характеристиками электромагнита.

Одновременно усилие, воздействующее на элемент создания давления, в качестве которого выступает гофрированная мембрана, равно:

$$F = \frac{\pi \cdot \text{E} \cdot h}{R^2} \cdot \left(a \cdot h^2 \cdot \lambda + \text{b} \cdot \lambda^3 \right) \quad (7)$$

где a, b – коэффициенты, характеризующие мембрану;

E – модуль упругости;

h – толщина материала мембраны;

R – рабочий радиус.

Применив формулу Кардано для нахождения корня третьего порядка, можно определить выходной параметр элемента создания давления упругого элемента λ:

$$\lambda=\sqrt[3]{\frac{F\cdot R^2}{2\cdot\pi\cdot E\cdot h\cdot b}+\sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{F\cdot R^2}{\pi\cdot E\cdot h\cdot b}\right)^2+\frac{1}{27}\left(\frac{a\cdot h^2}{b}\right)^3}}+ \\ +\sqrt[3]{\frac{F\cdot R^2}{2\cdot\pi\cdot E\cdot h\cdot b}-\sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{-F\cdot R^2}{\pi\cdot E\cdot h\cdot b}\right)^2+\frac{1}{27}\left(\frac{a\cdot h^2}{b}\right)^3}} \quad (8)$$

Используя формулу (8), можно оценить чувствительность мембраны при создании давления задатчиком в объеме с жидкостью с заданной точностью. В среде Matcad было определено оптимальное номинальное давление в объеме с жидкостью при различных значениях входного напряжения задатчика давления.

В ходе расчетов было установлено, что точность создания опорного значения статического давления определяется погрешностью работы генератора давления, погрешностью преобразования выходного электрического сигнала приводом в создаваемое давление в корпусе с помощью элемента создания давления, а также погрешностями преобразования датчиком давления, погрешностью задания и сравнения с заданными в блоке сравнения и управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пат. РФ № 2246101. Российская Федерация, МПК G01L 27/00. Устройство для создания давления газа / Л.И. Боришпольский, А.С. Мартынов, С.Г. Некрасов; заявитель и патентообладатель ЗАО Промышленная группа Метран. – № 2000125439, заявл. 09.10.2000; опубл. 10.02.2005, Бюл. № 4.

2. Пат. РФ № 2328210. Российская Федерация. МПК A61B 5/022, G09B 23/28. Способ и устройство калибровки тонометров с помощью имитатора пациента / Н.В. Кирсанов, В.Н. Сазонова. – № 2006124417; заявл. 07.07.2006; опубл. 20.07.08, Бюл. № 19.

3. Пат. РФ № 2393758. Российская Федерация, МПК A61B 5/00, A61B 5/22. Устройство для поверки автоматизированных сфигмоманометров / Р.Н. Каратаев, А.И. Сойко, И.Н. Синицын и др.; заявитель и патентообладатель КГТУ им. А.Н. Туполева. – № 2008144585, заявл. 11.11.2008; опубл. 10.07.2010, Бюл. № 19.

4. Пат. РФ № 2223031. Российская Федерация, МПК A61B 5/02. Установка для комплектной поверки автоматизированных средств измерений артериального давления и частоты пульса / В.А. Гогин, А.А. Варгин, Р.Н. Каратаев; заявители и патентообладатели ФГУ «Татарстанский ЦСМ», КГТУ им. А.Н. Туполева. – № 2002122148; заявл. 14.08.2002; опубл. 10.02.2004, Бюл. № 4.

5. Пат. РФ № 504108. МПК G01L 7/02. Способ создания опорного давления при измерении абсолютного давления газов упругим чувствительным элементом / Н.С. Ушаков.; заявл. 11.12.1972; опубл. 25.02.1976, Бюл. № 7.

ANALYSIS OF THE ACCURACY OF CREATING THE SUPPORT PRESSURE IN THE VOLUME WITH THE WORKING MATTER

Glukhova E., Vorobyeva E.

Liza5_1998@mail.ru, elizaveta4155@mail.ru

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

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

In this article the theoretical analysis and calculation of accuracy of the channel of static pressure in the device for checking of measuring instruments of excessive pressure in volume with liquid is carried out. In the Matcad optimum nominal pressure in volume with liquid at various values of entrance tension of the control point adjustment of pressure was determined.

УДК 658.5

ДИНАМИКА И НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кутдусова А.И.
alisa.kutdusova@yandex.ru
Научный руководитель: А.Т. Козлова, канд. экон. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Основное содержание статьи связано с ролью стандарта IATF:16949 (Система менеджмента качества для производств автомобильной промышленности и организаций, производящих соответствующие сервисные части) на сегодняшний день. Приведены преимущества внедрения данного сертификата на производстве.

В настоящее время качество продукции является важным показателем роста эффективности производства, а также повышение имиджа предприятия в условиях рынка. И как следствие, у компании становится больше покупателей, которые уверены в приобретаемых товарах данной компании. Всех этих целей компания может добиться благодаря внедряемой системы качества на производстве.

Автомобильная промышленность — это отрасль машиностроения, которая производит легковые и грузовые автомобили, автобусы, прицепы, а также их составные части и агрегаты. Чтобы в дальнейшем развивать автомобильное промышленное производство, предприятие должно обратить особое внимание на рост качества производимой продукции. Качество определяется соответствие требованиям, которые установлены в нормативной документации.

IATF 16949:2016 «Фундаментальные требования к системе менеджмента качества для производств автомобильной промышленности и организаций, производящих соответствующие сервисные части» [1] - является основным стандартом, который устанавливает требования к системам менеджмента качества предприятий, занимающихся производством автомобильной промышленности. ISO / TS 16949 с 2009 года, техническое задание для систем управления качеством автомобильного сектора, стало одним из наиболее широко используемых международных стандартов в автомобильной промышленности, гармонизируя различные системы оценки и сертификации в глобальной системе автомобильных поставок. 3 октября 2016 года IATF 16949:2016 был опубликован IATF и, следовательно, заменяет и заменяет действующий стандарт ISO / TS 16949: 2009, определяющий требования к системе менеджмента качества для организаций автомобильной промышленности.

Стандарт IATF 16949:2016 отменяет и заменяет техническую спецификацию ISO/TS 16949, которая действовала с 1999 г.

IATF 16949:2016 предусматривает и применение нескольких специальных методов и инструментов менеджмента: анализ видов и последствий потенциальных отказов (FMEA); анализ измерительных систем (MSA); процесс проверки производства автомобильных компонентов (PPAP); планирование качества перспективной продукции и программы управления (APQP); анализ статистических данных (SPC) [1].

Снижение рисков занимает центральное место в IATF 16949, как и в ISO 9001: 2015. IATF 16949 добавляет ряд конкретных требований, связанных с риском, чтобы свести к минимуму вероятность сбоя при разработке новой программы и максимизировать потенциальную реализацию запланированных мероприятий. Для обеспечения того, чтобы риск-ориентированное мышление было широко распространено во всей организации, необходимо активное участие высшего руководства, которое должно обеспечить достижения целевых показателей работы с клиентами и

В стандарте IATF 16949:2016 большое внимание уделяется аудиту. Процесс планирования аудита должен соответствовать всем применимым требованиям, определенным в IATF. Переходный аудит должен представлять собой полный аудит

системы, эквивалентный повторному сертификационному аудиту, и должен соблюдать все требования, определенные в правилах IATF [1]. При обучении внутренних аудиторов документированная информация должна храниться для демонстрации компетентности преподавателя с учетом дополнительных требований. Организации должны демонстрировать компетентность сторонних аудиторов, а сторонние аудиторы должны соответствовать специфическим требованиям заказчика к квалификации аудитора.

Стандарт IATF 16949 также определяет минимальные компетенции для аудиторов, которые включают в себя: автомобильный процессный подход к аудиту, включая риск-ориентированное мышление; применимые требования к основным инструментам; применимые клиент-специфические требования; методологии оценки разработки программного обеспечения. Эти изменения могут потребовать проведения анализа пробелов в компетентности с последующим проведением дополнительных мероприятий по подготовке и повышению квалификации аудиторов.

Переходная организация должна иметь документированные процессы для управления продуктами, связанными с безопасностью продукции, и производственными процессами. Новые требования, связанные с безопасностью продукции включают в себя: обучение, определенное организацией или заказчиком для персонала, участвующего в продуктах, связанных с безопасностью продукции, и связанных с ними производственных процессах; передача требований в отношении безопасности продукции по всей цепочке поставок, включая источники, назначенные заказчиком .Этот пункт подчеркивает тот факт, что продукт должен выполнять свою предназначенную цель, не причиняя неприемлемого вреда или ущерба. Организации должны иметь соответствующие процессы для обеспечения безопасности продукции на протяжении всего жизненного цикла изделия.[4]

Стандарт ссылается на встроенное программное обеспечение в требованиях к проверке продукта, гарантии и устранению неполадок в этой области. Продукт, требующий встроенного программного обеспечения, должен соответствовать требованиям источника происхождения, установленным клиентом. Требования компании, которая производит детали и оборудование к источникам и материалам, часто меняются, и ранние изменения в программе могут негативно повлиять на сроки и увеличить риск. Встроенное программное обеспечение остается здесь, и новая версия стандарта может потребовать от компаний взглянуть на свои купленные части и определить риски в своей нынешней системе

Исходя из растущей важности управления гарантийными обязательствами, в IATF 16949 было добавлено новое требование,связанное с тем,что организация должна предоставить гарантию на свой продукт. Процесс управления гарантией должен учитывать и интегрировать все применимые специфические для клиента требования и процедуры анализа гарантийной стороны для подтверждения отсутствия неполадок. Решения должны быть согласованы с клиентом, когда это применимо.

Основные преимущества стандарта IATF:16949 для производства заключается в следующем:

Во-первых, компания таким образом подтверждает соответствие общепринятым стандартам качества, являющимися общепринятыми для производства автомобильной промышленности.

Во-вторых, возможность интегрирования IATF:16949 с другими уже введенными системами менеджмента.

В-третьих, это уменьшение количества отходов и минимизация дефектов за счет повышения эффективности производства [2].

Внедрение технической спецификации в России идет более сложным путем, чем в других странах, в которых стандарт применятся уже давно и достаточно эффективно (США, Япония, Германия). Обусловлено это тем, что Россия только выходит на мировой автомобильный рынок и недостаточной сбалансированной позиции между рентабельностью производства и качеством продукции [3].

Для успешного внедрения стандарта IATF 16949:2016 руководство предприятия должно

создавать все необходимые для этого условия, такие как выделение дополнительных ресурсов, составление программы обучения персонала, пересмотра процессного подхода, выстраивание работы с поставщиками на принципах IATF 16949:2016.

Таким образом, внедрение стандарта способствует увеличению эффективности производства и возможностью российских производителей встать в один ряд по качеству своей продукции с мировыми компаниями. IATF 16949: 2016 описывает все, что нужно знать о достижении наилучшей практики при проектировании, разработке, производстве, установке или обслуживании автомобильных продуктов. Стандарт IATF 16949: 2016 -это возможность для организаций согласовать свое стратегическое направление с системой менеджмента качества. Также он может быть использован для повышения и мониторинга эффективности работы организации, основанной на стратегическом представлении более высокого уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. IATF 16949:2016 «Фундаментальные требования к системе менеджмента качества для производств автомобильной промышленности и организаций, производящих соответствующие сервисные части»
2. Шарапова А.С. Особенности внедрения стандарта IATF 16949:2016 /Губарев А.В. // Научно-методический журнал NovaInfo.-2017.- №75-2.-С.25
3. Боярова А.В. Проблемы внедрения и сертификации системы менеджмента качества для российских предприятий – поставщиков автомобильной промышленности // Известия Санкт-Петербургского университета экономики и финансов. -2010- № 5 (65). -С. 91а-93.
4. Pretesh Biswas. IATF 16949:2016 Automotive Quality Management System, Uncategorized on August 3, 2017, from https://isoconsultantpune.com/iatf-169492016-gap-analysis-tools/

THE DYNAMICS AND DIRECTION OF DEVELOPMENT OF QUALITY SYSTEMS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Kutdusova A.
alisa.kutdusova@yandex.ru
Supervisor: A. Kozlova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The main content of the article is relate to the role of the IATF standard: 16949 (Quality Management System for the automotive industry and organizations producing relevant service parts) for today. The advantages of implementing this certificate in production are given.

УДК 658.56

ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОИЗВОДИМЫХ АВТОКОМПОНЕНТОВ. СТАТИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ (SPC)

Маврин А.И.
mavrin-alex@yandex.ru
Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В работе рассматривается применение инструмента обеспечения качества проектируемых автокомпонентов — инструменты статистического управления. Рассматривается анализ стабильности процессов и основные инструменты анализа. В работе отражены факторы, влияющие на стабильность процессов и методы оценки стабильности процессов.

Производство автомобилей и автомобильных компонентов - это сегодня, пожалуй, самая

конкурентная отрасль промышленности в России. Качество бизнес-процессов любой компании характеризует ее способность конкурировать на рынке. Непрерывное улучшение деятельности компании заключается в улучшении процессов.

Так к примеру, для повышения качества изготовления и ресурса работы коленчатых валов для двигателей используют разные методы шлифования [1,2]. Однако, для улучшения, необходимо знать, как функционируют процессы в текущее время.

Любой показатель качества продукции или услуги не может быть абсолютно стабильным. На изменчивость показателя могут влиять самые разные причины: вариации свойств материала , погрешности, вносимые оборудованием и оснасткой, изменение параметров состояния окружающей среды, состояние и опыт работника и так далее. В результате действия этих факторов, наблюдается вариация значений показателей качества продукции.

Существует две группы причин, влияющих на изменчивость (вариации) значений показателей качества Первая - особые или специальные причины , вторая группа включает общие и случайные. Это деление имеет важное значение потому, что влечет за собой отличающиеся действия, направленные на исключение или снижение влияния этих причин.

Стабильностью любого процесса называют его свойство обеспечивать постоянство закона распределения вероятностей параметров процесса в течение определенного времени. Свойство процесса обеспечивать малое расхождение действительных и заданных значений показателей качества, характеризующих результат называют точностью процесса .

Для обеспечения соответствия качества будущей продукции требованиям потребителя компании используют инструменты проектного управления организацией производства автомобильных компонентов через управление качеством продукции. Они заложены в требованиях стандарта Системы Менеджмента Качеством продукции ISO-IATF 16949 [3].

Инструменты статистического управления процессами предназначены для того чтобы:

1. Определить, располагается ли производственный процесс в рамках технических требований:

2. Определить, протекает ли процесс в рамках статистически управляемого состояния:

Целями SPC объявляются:

- Достижение статистически управляемого состояния процесса ;
- Поддержание процесса в статистически управляемом состоянии ;
- Улучшение возможностей процесса .

Распределение значений показателя качества для различных выборок отличается незначительно, то есть стабильно во времени и предсказуемо (рис.1), если на систему действуют только случайные факторы,. Подобный процесс называют «статистически управляемым».



Рис. 1. Поведение статистически управляемого процесса

Внешние по отношению к процессу причины, обычно проявляющиеся нерегулярно (такие, как переналадка станка, ошибки оператора, нарушение технологических режимов) называют особыми. Они, безусловно, могут оказать существенное отрицательное и, главное, непредсказуемое влияние на показатели качества. Процесс дестабилизируется во

времени и становится неуправляемым (рис. 2).

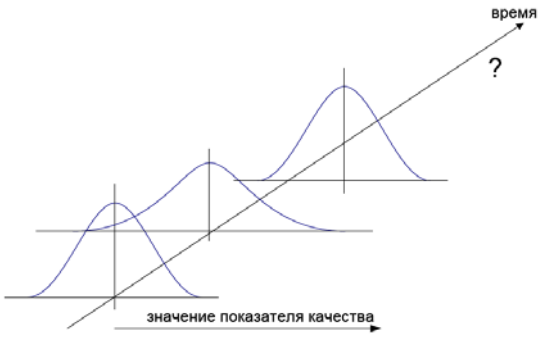


Рис. 2. Поведение статистически неуправляемого процесса

Устранение особых причин, обычно, требует локального вмешательства в процесс.

Для устранения или снижения влияния общих причин изменчивости, обычно, необходимы руководящие решения (значительное вмешательство в систему), как ремонт или реконструкция оборудования и оснастки, обучение персонала, изменение системы снабжения качественным материалом.

Особыми причинами изменчивости называют причины, оказывающие влияние на систему снаружи.

2. АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССОВ.

В методике SPC-анализа основным инструментом анализа и статистического управления процессами являются контрольные карты Уолтера Шухарта.

Контрольные карты используют для анализа и управления любыми процессами, и не только технологические, но и процессами обслуживания, управления.

Преимущества использования контрольных карт:

- простота построения и использования;
- возможность улучшения статистически управляемого процесса через снижение влияния ординарных причин изменчивости и настройки процессов до оптимального уровня;
- возможность их использования в качестве доступного средства обмена информацией между специалистами, службами, потребителями и поставщиками.
- возможность идентифицировать причины изменчивости процесса и, по виду этих причин, решать, на каком уровне (управленческом или исполнительском) эти действия лучше выполнять;
- возможность достижения статистически управляемого состояния процесса и обеспечение стабильного уровня качества результатов процесса;

Классификация контрольных карт

В зависимости от принимаемых решений, состава данных и вида статистической обработки информации существует несколько типов карт .

По способу учета параметров качества контрольные карты делятся на две группы:

- контрольные карты процесса по качественному (альтернативному) признаку.
- контрольные карты процесса по количественному признаку;

В контрольных картах по количественному признаку анализируются результаты оценки, проводимой с помощью измерения числовых значений показателя качества.

В картах по альтернативному признаку используются результаты наблюдений и регистрации наличия (или отсутствия) параметра, показывающего качество процесса, такие как, число дефектов или дефектных экземпляров продукции.

Перечисленные карты относятся к классическим контрольным картам Шухарта [6,7].

Карты по количественному признаку используются для анализа стабильности и управления процессом, по уровню его настройки и по величине разброса показателей качества. Наиболее часто применяются следующие контрольные карты:

-карты медиан и размахов;

-карты средних значений и стандартных отклонений;

- карты средних значений и размахов;

-карты индивидуальных значений и скользящих размахов.

Анализ контрольных карт

Главное достоинство контрольных карт - они дают возможность делать выводы о том, находится ли процесс в управляемом состоянии и распознавать признаки присутствия особых причин изменчивости. Анализ контрольных карт производится по характеру расположения на ней контрольных точек.

О наличии особых причин сигнализируют следующие 4 признака:

1. Выход точки за контрольные границы.

Так как, при нормальном распределении в пределах +- 3σ располагается большинство значений статистических характеристик (около 99,73%), то при статистически устойчивом процессе почти все точки на карте будут располагаться в коридоре между контрольными границами. Когда в процессе присутствуют особые причины, которые ведут к разладке процесса (сдвигу уровня настройки или росту разброса значений показателя качества), то контрольная карта может показать это выходом точек за контрольные границы.

2. Серии из 7 точек по одну сторону от средней линии.

О рассогласовании процесса обязательно свидетельствуют 7 точек подряд, расположенных по одну сторону от средней линии. И если длина серии меньше 7 точек, иногда ситуацию следует рассматривать как ненормальную,

3. Серии из 7 последовательно убывающих или возрастающих точек (тренды)

4.Другие совокупности данных (циклы или иные закономерности).

Могут появляться отличающиеся совокупности данных, которые будут свидетельствовать о воздействии на процесс особых причин. Это могут быть очевидные тренды (даже менее чем из семи точек), циклы или другие закономерности.

Расстояние между контрольными границами принято делить на три зоны, как это показано на рис.4. для карты средних арифметических.

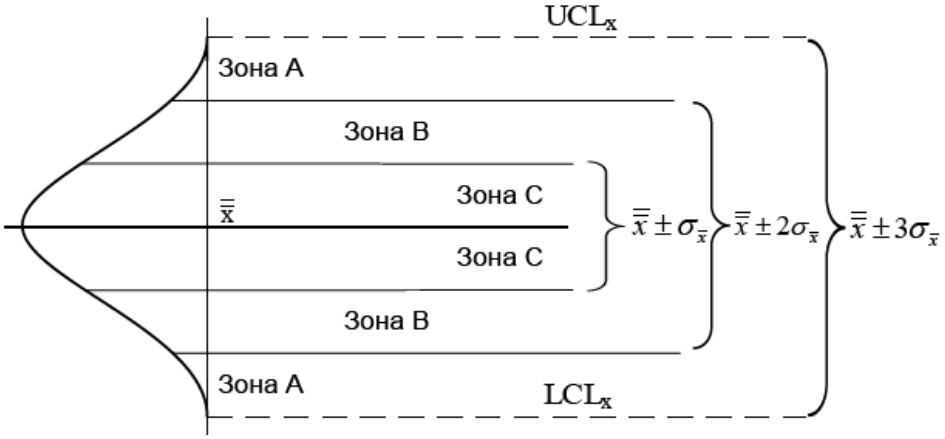


Рис. 4. Зоны контрольных границ

Зона С в пределах $\bar{\bar{x}} \pm \sigma_{\bar{x}}$;

зона В, в пределах от $\bar{\bar{x}} \pm \sigma_{\bar{x}}$ до $\bar{\bar{x}} \pm 2\sigma_{\bar{x}}$

и зона А – от $\bar{\bar{x}} \pm 2\sigma_{\bar{x}}$ до $\bar{\bar{x}} \pm 3\sigma_{\bar{x}}$.

Если распределение контролируемого параметра подчинено нормальному закону, то при нормальном ходе процесса около 2/3 всех точек должно располагаться в пределах $\bar{\bar{x}} \pm \sigma_{\bar{x}}$, то есть в зоне С.

Следовательно, нарушение такого расположения точек может информировать о

дестабилизации процесса.

Контрольные карты по альтернативному признаку

Параметрами, используемыми при построении контрольных карт, могут быть не только количественные показатели качества, но и качественные признаки. Часто используют карты по альтернативным признакам. Примерами могут служить результаты проверки размеров с использованием контрольных калибров, анализ выполнения сроков заказа.

3. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ПРОЦЕССОВ

Под точностью или возможностью процесса понимают способность анализируемого процесса обеспечить соответствие действительных значений показателя качества, заданным. Возможность процесса характеризуют его изменчивостью, связанной с обычными и особыми причинами. Точность процесса оценивают долей (процентом) изделий, которые соответствуют установленным требованиям или с помощью специальных показателей возможности: индексов воспроизводимости или пригодности процесса.

Для определения возможности процесса необходимо оценить его стабильность используя контрольные карты. Распределение показателя качества должно быть нормальным или близким к нему. По результатам оценки стабильности процесса могут быть сделаны следующие выводы:

- оцениваемый процесс стабилен по разбросу и уровню настройки (состояние А);
- оцениваемый процесс стабилен по разбросу, но нестабилен по уровню настройки (состояние Б);
- оцениваемый процесс нестабилен и по разбросу и по уровню настройки (состояние В).

По результатам предварительного анализа стабильности с использованием контрольных карт определяется собственная или полная изменчивость процесса.

Собственная изменчивость оценивается стандартным отклонением $\hat{\sigma}_{\text{I}}$,

$$\hat{\sigma}_{\text{I}} = \frac{\overline{R}}{d_2} \quad \text{и} \quad \text{ли} \qquad \hat{\sigma}_{\text{I}} = \frac{\overline{S}}{c_4}$$

определяемое в зависимости от вида контрольной карты.

Эта изменчивость проявляется в виде разброса значений параметра внутри мгновенных выборок, когда по предположению процесс стабилен. Она характеризует низший уровень несоответствий, что может обеспечить процесс.

Разность между полной и собственной изменчивостью процесса характеризует его нестабильность.

Для статистически управляемого процесса (состояние А) используют такие индексы воспроизводимости:

$$C_{\text{p}} = \frac{T_{\text{в}} - T_{\text{н}}}{6\hat{\sigma}_{\text{I}}};\ C_{\text{pk}} = \min\left(\frac{T_{\text{в}} - \overline{\overline{x}}}{3\hat{\sigma}_{\text{I}}}, \frac{\overline{\overline{x}} - T_{\text{н}}}{3\hat{\sigma}_{\text{I}}}\right).$$

Где Тв и Тн – соответственно наибольшее и наименьшее предельные значения показателя качества.

Для статистически неуправляемого процесса (состояния Б и В) используют индексы пригодности:

$$P_{\text{p}} = \frac{T_{\text{в}} - T_{\text{н}}}{6\hat{\sigma}_{\text{T}}};\ P_{\text{pk}} = \min\left(\frac{T_{\text{в}} - \overline{\overline{x}}}{3\hat{\sigma}_{\text{T}}}, \frac{\overline{\overline{x}} - T_{\text{н}}}{3\hat{\sigma}_{\text{T}}}\right).$$

По индексам Ср и Рр можно дать характеристику соотношению величин поля допуска и разброса значений анализируемого показателя , то есть, потенциальную возможность процесса. Указанные индексы идентифицируют минимально возможный уровень дефектов в том случае, если уровень настройки процесса будет стабилен и будет соответствовать середине поля допуска на изделие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Юнусов Ф.С., Юнусов Р.Ф.* Исследование точности обработки и стабилизации силы резания при полусвободном шлифовании//Вестник машиностроения. М., 2012. № 9. С.52-57.

2. *Юнусов Ф.С., Хисамутдинов Р.М., Юнусов Р.Ф.* Экспериментальное исследование качественных и геометрических параметров внутренней поверхности вала ТНД после ленточного шлифования // Вестник машиностроения. М., 2008. №12. С. 35-40.

3. *Исаев С.В.* Журнал «Стандарты и качество», ИСО/ТУ 16949:2002 для потребителей - №6, 2009. С. 7-8.

4. SPC. СТАТИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ Ю. М. Быков, С. Ю. Быков, ТЕМ Консалтинг , 2017. - 49 с.

5. *Григорьев Л.Ю., Корышев И.И.,* Стратегия компании и цели в области качества, «Методы менеджмента качества» - ISO 9000 - №7, 2009. С 15.

6. Контрольные карты Шухарта в действии / Адлер Ю. П., Шпер В. Л. // Методы менеджмента качества. – 2004. – №2. С 34-37

7. Контрольные карты Шухарта для качественных признаков / Адлер Ю. П., Шпер В. Л. // Методы менеджмента качества. – 2004. – № 6. С 42-48

8. *Розно М. И.* и др. Практическое руководство. Применение прикладных статистических методов при производстве продукции (для специалистов по управлению качеством и специалистов технических служб). – Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2004. – 92с.

INSTRUMENTS OF QUALITY MANAGEMENT OF PRODUCED AUTOMATIC COMPONENTS. STATISTICAL PROCESS MANAGEMENT (SPC).

Mavrin A.

mavrin-alex@yandex.ru

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

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

The work is devoted to the usage of the quality assurance instruments of the designed automotive components - statistical management instruments. The analysis of the stability of processes and the basic analysis tools are considered. The work reflects the factors affecting the stability of processes and methods for assessing the stability of processes.

УДК 536.51:681.5.015.3

ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ КРИВЫХ ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИИ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ДВУМЕРНОГО ЕГРЕССИОННАГО АНАЛИЗА

Сафина И.А., Гатиятуллина Н.Р., Кутдусова А.И.

sab-ilnata@mail.ru

Научный руководитель: А.Ф. Сабитов, канд. техн. наук, доцент

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

Проведены исследования по применению двумерного регрессионного анализа для построения характеристических кривых тепловой инерции датчика температуры. Показано повышение точности определения номинальных постоянных времени датчиков температуры.

Существует ряд датчиков температуры, динамические характеристики которых зависят от условий теплообмена с измеряемой средой. В случае если тепловая инерционность подобных датчиков не удовлетворяет требованиям к быстродействию измерения нестационарных температур, то их динамические характеристики корректируются с помощью вводимых в измерительную цепь корректирующих устройств. Однако для обеспечения условий оптимальной коррекции параметры корректирующих устройств

должны быть настроены на номинальные постоянные времени выбранной динамической модели используемого датчика температуры. При этом следует иметь в виду, что постоянные времени меняются с измерением условий теплообмена и требуется непрерывная подстройка параметров корректирующих устройств.

Наиболее информативной характеристикой зависимости постоянных времени от условий теплообмена являются так называемые характеристические кривые тепловой инерции [1].

Традиционная методика построения характеристических кривых включает:

- регистрацию нескольких переходных характеристик исследуемого датчика температуры при различных известных условиях теплообмена;
- определения искомых постоянных времени из зарегистрированных переходных характеристик;
- построение по полученным данным характеристических кривых в координатах постоянная времени - коэффициент теплообмена.

В работе [2] приведены результаты построения характеристических кривых тепловой инерции авиационных датчиков температуры газов, полученные традиционным методом.

Целью проведенных исследований являлось повышение точности определения характеристических кривых тепловой инерции авиационных датчиков температуры газов с использованием двумерного регрессионного анализа.

Теоретические основы двумерного регрессионного анализа для построения характеристических кривых тепловой инерции опубликованы в работе [3].

Исследованию подверглись экспериментальные переходные характеристики некоторого опытного датчика температуры газов, зарегистрированные на аттестованной воздушной установке при скоростях воздушного потока 95, 130 и 150 м/с. Расчеты показали, что этим скоростям соответствует коэффициент теплообмена α с воздушным потоком, равный 803,5, 975,8 и 1063,8 Вт/(м^2 К) соответственно.

В качестве динамической модели исследуемого датчика выбрана следующая передаточная функция второго порядка, описываемая тремя постоянными времени T_1, T_2 и E:

При этом функция регрессии имеет вид:

$$h(\tau,\alpha)=1-\frac{T_1(\alpha)-E(\alpha)}{T_1(\alpha)-T_2(\alpha)}\cdot\exp\left(-\frac{\tau}{T_1(\alpha)}\right)+\frac{T_2(\alpha)-E(\alpha)}{T_1(\alpha)-T_2(\alpha)}\cdot\exp\left(-\frac{\tau}{T_2(\alpha)}\right),$$

где $T_1(\alpha)=\frac{1}{\alpha\,\Psi_{T_1}}+T_{1\infty}$, $T_2(\alpha)=\frac{1}{\alpha\,\Psi_{T_2}}+T_{2\infty}$, $E(\alpha)=\frac{1}{\alpha\,\Psi_{E}}+E_{\infty}$.

На рисунке 1 представлен график поверхности функции регрессии и трех экспериментальных переходных характеристик исследуемого датчика температуры.

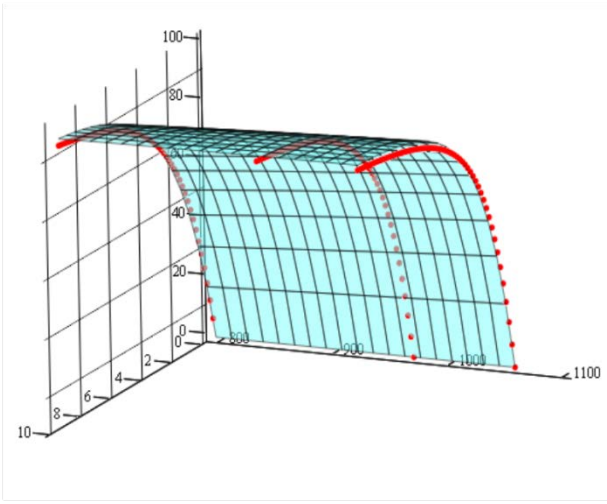
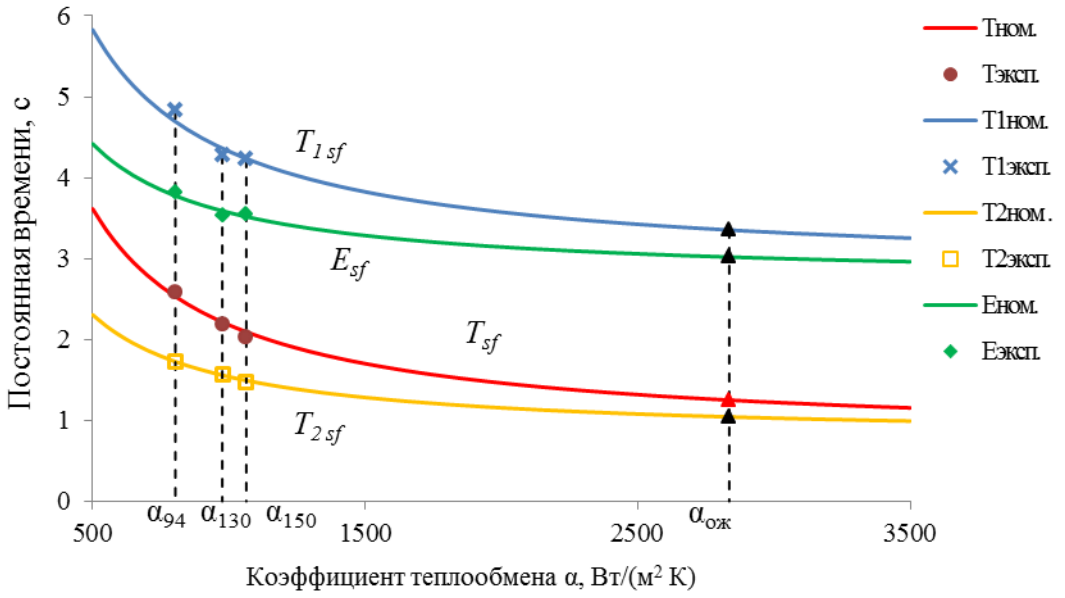


Рис. 1. График поверхности функции регрессии
и трех экспериментальных переходных характеристик

По установленным параметрам функции регрессии построены характеристические кривые тепловой инерции выбранной динамической модели датчика температуры, изображенные на рисунке 2.



α_{94}, α_{130} и α_{150} – коэффициенты теплообмена, соответствующие скорости воздушного потока 94, 130 и 150 м/с; $\alpha_{ож}$ – коэффициент теплообмена, соответствующий ожидаемому режиму
Рис. 2. Характеристические кривые тепловой инерции опытного ДТГ

Сравнение постоянных времени, найденных по традиционной методике и по двумерному регрессионному анализу для некоторого ожидаемого режима эксплуатации исследуемого датчика температуры, показало, что повышение точности определения динамических характеристик с помощью двумерного регрессионного анализа составило примерно 28 %.

Проведенные исследования также показали, что нахождение характеристических кривых тепловой инерции авиационных датчиков температуры газов может успешно применятся при идентификации их динамических характеристик совместно со спектральным анализом, приведенном в работе [4, 5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Петунин А.Н.* Измерение параметров газового потока: Приборы для измерения давления, температуры и скорости / А.Н. Петунин. – М.: Машиностроение, 1974. – 260 с.

2. *Сабитов А.Ф.* Идентификация номинальных динамических характеристик авиационных датчиков температуры газов / А.Ф. Сабитов, И.А. Сафина // Приборы и методы измерений. – 2017. – Т.8, № 1. – С. 7-14. DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-1-7-14.

3. *Сабитов А.Ф.* Методика определения характеристической кривой тепловой инерции авиационных датчиков температуры газов / А.Ф. Сабитов, И.А. Сафина // Приборы и методы измерений. – 2017. – Т.8, № 4. – С. 357-364. DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-1-357-364.

4. *Сабитов А.Ф.* Идентификация динамических характеристик авиационных датчиков температуры газов / А.Ф. Сабитов, И.А. Сафина // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т.7, № 2. – С. 211-218. DOI: 10.21122/2220-9506-2016-7-2-211-218.

5. *Сафина И.А.* Идентификация номинальных динамических характеристик авиационных датчиков температуры газовых потоков / И.А. Сафина, А.Ф. Сабитов, В.И. Гаркушенко //Авиакосмическое приборостроение. – 2017. – № 3. – С. 3-12.

THE CONSTRUCTION OF THE CHARACTERISTICS CURVE OF THERMAL INERTIA TEMPERATURE SENSOR WITH TWO-DIMENSIONAL REGRESSION ANALYSIS

Safina I., Gatiyatullina N., Kutdusova A.

sab-ilnata@mail.ru

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

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

Studies on the use of two-dimensional regression analysis for the construction of characteristic curves of thermal inertia of the temperature sensor. The increase of accuracy of determination of nominal time constants of temperature sensors is shown.

УДК 536.51:681.5.015.3

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Сафина И.А., Лысова А.Д., Шокурова Е.В.

sab-ilnata@mail.ru

Научный руководитель: А.Ф. Сабитов, канд. техн. наук, доцент

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

Излагаются результаты применения спектрального анализа для идентификации динамических характеристик авиационных датчиков температуры газов. Показано основное преимущество спектрального анализа перед другими известными методами. Даны рекомендации по практическому использованию спектрального метода для некоторых средств измерений.

Существуют и продолжают разрабатываться методов идентификации динамических характеристик различных средств измерений. Для средств измерений, которые могут быть отнесены к линейным аналоговым с сосредоточенными параметрами, имеются ГОСТ 8.061, ГОСТ 8.256 и Рекомендация МИ 2090-90, устанавливающие основные правила выбора и реализации методов определения динамических характеристик.

Как указывается в [1], не следует ожидать создания универсального метода определения динамических характеристик средств измерений. Речь должна идти о ряде методов различной точности и сложности, имеющих свои преимущества, недостатки и область пользования. Одним из таких методов является спектральный метод определения динамических характеристик средств измерений, приведенный в работе [2].

Как заявлено в работе [2], спектральный метод не чувствителен к помехам, содержащимся в зарегистрированных переходных характеристиках средств измерений, если их частоты находятся выше верхней частоты информативной части амплитудного спектра, сформированного из переходной характеристики.

Целью данной работы является доказательство заявляемого преимущества спектрального метода.

Для достижения поставленной цели выбран метод, реализуемой программой Identification Tolbox программной системы Matlab 2013b с процедурой tfest для идентификации моделей в виде передаточных функций. Данная процедура не применяется для идентификации динамических характеристик средств измерений, но может быть использована как сравнительная по отношению к спектральному методу.

Оценка преимуществ спектрального метода произведена для средств измерений, у которых передаточная функция соответствует второму порядку с известными постоянными времени, а именно

$$W(p) = \frac{E_{\text{тест}} p + 1}{(T_{1\text{тест}} p + 1)(T_{2\text{тест}} p + 1)}. \qquad (1)$$

Установлено, что передаточной функции вида (1) соответствует информативная часть амплитудного спектра от 0 до 6 рад/с (т.е. примерно до 1 Гц).

Поскольку не удалось смоделировать помехи с частотой выше 6 рад/с, то для примера на переходную характеристику, соответствующей передаточной функции (1), наложен пилообразный сигнал, который разлагается в следующий бесконечный ряд Фурье:

$$f(\tau) = \frac{2A}{\pi}\left[\sin\left(\frac{2\pi}{T}\tau\right) - \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\cdot 2\pi}{T}\tau\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{3\cdot 2\pi}{T}\tau\right) - \frac{1}{4}\sin\left(\frac{4\cdot 2\pi}{T}\tau\right) + \ldots\right], \qquad (2)$$

где A – амплитуда пилообразного сигнала;

T – период пилообразного сигнала, с.

Значение периода пилообразного сигнала выбрано равным 0,25 с, что соответствует первой (низшей) частоте гармоники ряда 25,12 рад/с (т.е. 4 Гц).

Сравнение произведено при различной амплитуде A пилообразного сигнала, которая составляла 0 %, 5 %, 10 %, 35 %, 40 %, 45 %, 50 %, 55 %, 75 % и 100 % от максимального уровня переходной характеристики.

Результаты определения постоянных времени двумя методами приведены в таблицах 1 и 2, при этом известные (тестовые) значения постоянных времени были следующими: $T_{1\text{тест}}$=3 с, $T_{2\text{тест}}$=1 с, $E_{\text{тест}}$=2 с.

Таблица 1

Результаты определения постоянных времени по программе Identification Tolbox при наличии в переходной характеристике помехи $f(\tau)$ различного уровня

A	0 %	5 %	10 %	35 %	38 %	40 %	45 %	50 %	55 %	75 %	100 %
T_1, с	3,000	3,013	3,006	2,987	2,025	2,042	2,046	2,051	2,982	2,937	2,919
T_2, с	1,000	1,015	1,013	1,018	0,053	0,016	0,015	0,012	1.033	1,008	1,016
E, с	2,000	2,039	2,032	2,032	-3,232	0,182	0,186	0,195	2,060	1,986	1,993

Таблица 2

Результаты определения постоянных времени по спектральному методу при наличии в переходной характеристике помехи $f(\tau)$ различного уровня и использовании информативной части амплитудного спектра от 0 до 6 рад/с

A	0 %	5 %	10 %	35 %	40 %	45 %	50 %	75 %	100 %
T_1, с	3,019	3,019	3,019	3,021	3,022	3,022	3,023	3,025	3,026
T_2, с	1,021	1,022	1,022	1,023	1,024	1,024	1,024	1,026	1,027
E, с	2,035	2,036	2,036	2,040	2,041	2,041	2,042	2,045	2,049

Из таблицы 1 видно, что программа Identification Tolbox при некоторых уровнях помехи выдает существенно отличные от тестовых значений постоянные времени. В тоже время, как следует из таблицы 2, спектральный метод определяет постоянные времени практически одинаковыми во всем диапазоне уровней помех. При этом значения установленных постоянных времени при различных амплитудах помехи отличаются от постоянных времени, установленных при отсутствии помехи (A=0 %), не более чем на 0,68 %.

Для примера на рисунке 1 представлены переходные характеристики при A=0 % и при A=50 %, а на рисунке 2 - амплитудный спектр переходной характеристики с наложенной пилообразной помехой при A=50 %.

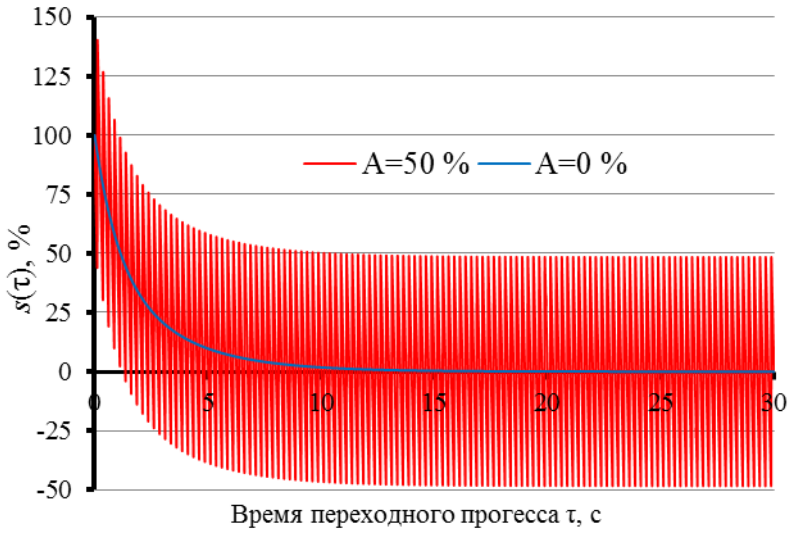


Рис. 1. Переходная характеристика при A=0 % и при A=50 %

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

- главным преимуществом спектрального метода по сравнению с рассмотренным является то, что на точность определения динамических характеристик датчиков практически не влияют помехи даже высокого уровня, если помехи расположены выше информативной части амплитудного спектра;

- спектральный метод может применяться для идентификации динамических характеристик авиационных датчиков температуры газов в процедуре определения постоянных времени выбранных динамических моделей, приведенной в работе [3].

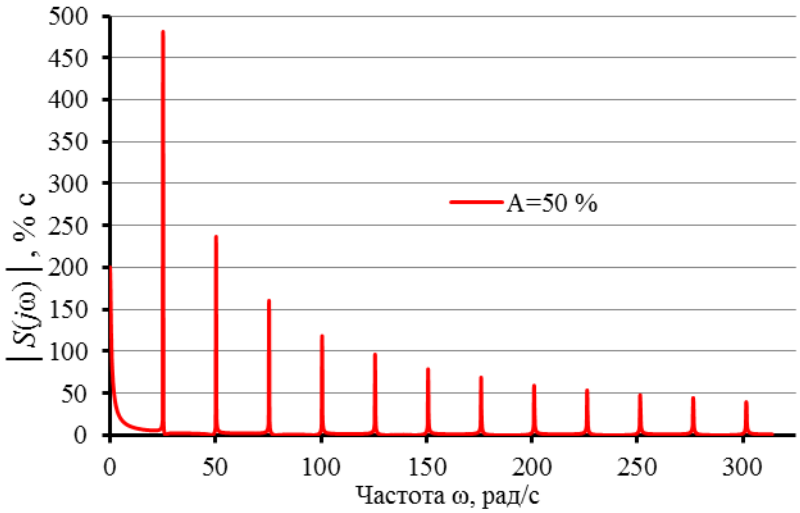


Рис. 2. Амплитудный спектр переходной характеристики
с наложенной помехой при амплитуде помехи *A*=50 %

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Грановский В.А.* Динамические измерения: Основы метрологического обеспечения / В.А. Грановский. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. – 224 с.

2. *Сабитов А.Ф.* Идентификация динамических характеристик авиационных датчиков температуры газов / А.Ф. Сабитов, И.А. Сафина // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т.7, № 2. – С. 211-218. DOI: 10.21122/2220-9506-2016-7-2-211-218.

3. *Сабитов А.Ф.* Идентификация номинальных динамических характеристик авиационных датчиков температуры газов / А.Ф. Сабитов, И.А. Сафина // Приборы и методы измерений. – 2017. – Т.8, № 1. – С. 7-14. DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-1-7-14.

APPLICATION OF SPECTRAL ANALYSIS IN THE IDENTIFICATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF MEASURING INSTRUMENTS

Safina I., Lysova, A., Shokurova E.
sab-ilnata@mail.ru
Supervisor: A. Sabitov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Presents the results of application of spectral analysis to identify the dynamic characteristics of aircraft sensors, the temperature of the gas. The main advantage of spectral analysis over other known methods is shown. Recommendations on the practical use of the spectral method for some measuring instruments are given.

УДК 331.08

СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНОГО СТАНДАРТА КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОСТА

Толпегина Е.А.
tolpeginaek@mail.ru
Научный руководитель: Л.Н. Галимова, д-р ист. наук, доцент
(Ульяновский институт гражданской авиации
имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, г. Ульяновск)

Статья посвящена вопросам внедрения регионального стандарта кадрового обеспечения промышленного роста. Рассмотрены задачи и методы его реализации, а также приведены результаты апробации данного стандарта в некоторых субъектах Российской Федерации.

Кадровый стандарт – это стандарт современных управленческих практик, встроенных в систему управления регионом и направленных на обеспечение промышленности региона требуемыми высококвалифицированными кадрами[1].

Целью разработки данного стандарта является повышение инвестиционной привлекательности регионов, осуществление формирования базы для эффективной подготовки кадров удовлетворяющих запросам современного рынка. В связи с растущими насущными и долгосрочными потребностями экономики и промышленности регионов требуется на всех ступенях образования обеспечить профессиональную подготовку высококвалифицированных кадров на достойном уровне.

Кадровый стандарт предназначается для применения высшим должностным лицом субъекта Российской Федерации, органами исполнительной власти регионов, отраслевыми, профессиональными организациями, работодателями в качестве руководства по реализации проектов внедрения модели кадрового обеспечения промышленного и экономического роста в регионе[2]. В нем учтены результаты реализации системного проекта Агентства «Подготовка рабочих кадров, соответствующих требованиям высокотехнологичных отраслей промышленности, на основе дуального образования», результаты движения «WorldSkills Russia» и лучшие практики кадрового обеспечения субъектов Российской Федерации[3].

Для осуществления задач кадрового стандарта необходимо:

1. Повысить качество профессиональной подготовки кадров для региональных предприятий при помощи внедрения практико-ориентированных программ обучения;

2. Использовать мероприятия по повышению уровня инвестиционной привлекательности региона для того, чтобы определить эффективность реализации Стандарта;

3.Внедрить новейшие механизмы в совершенствование систем высшего образования, среднего и дополнительного профессионального образования, а также усовершенствовать дополнительное образование детей;

4. Обеспечить подготовку кадров, которая соответствует требованиям мировых стандартов и потребностями региональной промышленности и экономики.

5. Произвести систематизацию отработанных положений и механизмов подготовки кадров

6. Организовать тиражирование лучших эффективных практик.

Для того, чтобы разработать механизм внедрения Стандарта необходимо: мониторить ход внедрения Стандарта, обеспечить диалог власти и бизнеса, объективно оценивать качество внедрения Стандарта.

В результате пилотного внедрения стандарта в различных регионах (20 субъектов РФ) сделаны выводы о необходимости его дополнения и корректировки, утверждены критерии результативности, произведено обобщение лучших региональных практик, для того чтобы обеспечить его распространение на все субъекты Российской Федерации.

В субъекте Российской Федерации должно быть выполнено следующее:

- проведен анализ и выполнено прогнозирование потребностей регионального рынка труда в кадровых ресурсах.

- проработаны механизмы профессиональной дуальной подготовки кадров, а также их переподготовки.

- повышение качества образования инженерных специальностей и налаживание активного взаимодействия предприятий и вузов по обучению соответствующим специальностям.

- разработка сетевых образовательных программ (объединение программ вузов, колледжей, предприятий и иных субъектов инновационной инфраструктуры).

В пилотных регионах разрабатываются и подписываются соглашения, дорожные карты и планы внедрения и их исполнение контролируется общественным представителем Агентства с помощью фиксирования статуса реализации мероприятий.

В данных регионах создается региональная экспертная группа для контроля качества внедрения Стандарта в ее состав входят: основные региональные предприятия-работодатели; общественные и предпринимательские объединения региона и региональный представитель Союза «WorldSkills Russia».

По итогам проведенной апробации в пилотных регионах требуется внести ключевые дополнения в Стандарт:

1. Учитывать ситуацию на рынке труда при разработке модели и стратегии кадрового обеспечения и включение в процесс кадрового обеспечения ответственного за регулирование рынка труда и занятости.

2. Учитывать механизмы взаимодействия участвующих в процессе образования при разработке нормативно-правовой базы региона и схем обеспечения материально-технической базы образовательного процесса.

3. Уточнить требования к стратегии кадрового обеспечения региона, в частности к разработке модели кадрового обеспечения, ее структуре и содержанию.

4. Уточнить и дополнить требования к функционалу органов управления и взаимодействию между ведомствами.

Развивается чемпионатное движение, проводятся региональные и международные чемпионаты «WorldSkills» по профессиональному мастерству. Одним из важнейших эффектов апробации является повышение качества подготовки профессиональных кадров по требованиям «WorldSkills», что подтверждено результатами чемпионатов: увеличивается количество участников и призеров, растет средний балл набранный участниками чемпионатов.

В рамках апробации была разработана и реализована уникальная практика проведения демонстрационного экзамена по стандартам «WorldSkills Russia» в результате которой появляется возможность определения уровня выпускников образовательных учреждений и его соответствие международным стандартам.

В процессе апробации стандарта отобраны практики по дуальной подготовке инженерных кадров, включая подготовку кадров для малых и средних высокотехнологичных предприятий. В результате исследования было выявлено, что пилотные предприятия, принявшие участие в апробации кадрового стандарта имеют существенное превосходство по всем параметрам дуальной обучения и больше удовлетворены качеством подготовки профессиональных кадров. Сделаны выводы, что невозможно сформировать единые жесткие требования к способам выстраивания кадрового обеспечения разных регионов ввиду их различной специфики.

Таким образом, делаем вывод, что внедрение во всех регионах Российской Федерации регионального Стандарта кадрового обеспечения промышленного роста сделает возможным укомплектовать высокотехнологичные отрасли промышленности по сквозным рабочим профессиям на основе подготовки кадров по высшим международным стандартам, а также внедрить систему практико-ориентированного обучения кадров и усилить мониторинг качества их подготовки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Региональный стандарт кадрового обеспечения промышленного (экономического) роста. Агентство стратегических инициатив. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. Режим доступа: http://www.psu.ru/files/docs/podrazdeleniya/URAiV/Forum-2018/bocharov.pdf.

2. Кадровый стандарт. Агентство стратегических инициатив. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. - Режим доступа: https://asi.ru/staffing/standard/.

3. *Серебренников С., Харитонов С., Стуловский А.* Сбор, оценка и прогнозирование кадровых потребностей промышленности./ *С. Серебренников, С. Харитонов, А. Стуловский*.// Стандарты и качество. Рубрика качество управления. - 2018. - Режим доступа: https://ria-stk.ru/stq/adetail.php?ID=165788

MODERN TASKS AND METHODS OF IMPLEMENTATION THE REGIONAL STANDARD OF STAFFING INDUSTRIAL GROWTH

Tolpegina E.
tolpeginaek@mail.ru
Supervisor: L. Galimova, Doctor of Historical Sciences, Associate Professor
(Ulyanovsk Institute of Civil Aviation
named after Main marshal of aviation Boris Bugaev, Ulyanovsk)

This article is dedicated to the issues of the regional standard of staffing industrial growth implementation. Reviewed tasks and methods of realization and given the results of approbation this standard in the regions of Russian Federation.

УДК: 658.516.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБОПОРШНЕВОЙ ПОВЕРОЧНОЙ УСТАНОВКИ

Шабалина О.К.
geogmord@mail.ru
Научный руководитель: А.И. Сойко, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Трубопоршневая поверочная установка (ТПУ) является важным звеном, обеспечивающим достоверность учета нефти и нефтепродуктов системами измерений количества и показателей качества нефти и нефтепродуктов (СИКН). От точности поверки ТПУ зависят метрологические характеристики всего СИКН в целом. В связи с этим очень важно знать и учитывать факторы, влияющие на метрологические характеристики ТПУ. Этой важной теме посвящена данная статья.

Совершенствование метрологического обеспечения нефтяного комплекса, обеспечивающее повышение точности измерений нефти и нефтепродуктов, является одним из наиболее эффективных направлений инвестирования в стране, дает отдачу в виде увеличения объема реализации нефти и сокращения ее себестоимости. Это направление занимает важное место в концепции и программе развития нефтяной отрасли России.

В настоящее время измерение перекачиваемых по трубопроводам углеводородных жидкостей осуществляется с помощью систем измерений количества и показателей качества нефти и нефтепродуктов (СИКН). Метрологическое обеспечение является основой, необходимой для достижения требуемой погрешности измерений в коммерческом учете нефти. В соответствии с пунктом 1 статьи 13 Федерального закона от 26 июня 2008 г. N 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» средства измерений, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, в процессе эксплуатации подлежат периодической поверке. В связи с этим одним из важнейших элементов СИКН являются поверочные установки, с помощью которых производится поверка средств измерений (СИ) расхода жидкости. В качестве поверочных установок широко применяются ТПУ. Существует множество факторов, влияющих на метрологические характеристики СИ расхода жидкости (плотность, вязкость, температура и т.д.), которые невозможно точно воссоздать в испытательных лабораториях, поверка в реальных условиях эксплуатации с применением ТПУ позволяет их учесть. [1]

Принцип действия ТПУ (рис.1) заключается в повторяющемся вытеснении поршнем известного объема жидкости из калиброванного участка. При этом поршень совершает движение под действием потока жидкости, проходящей через калиброванный участок.

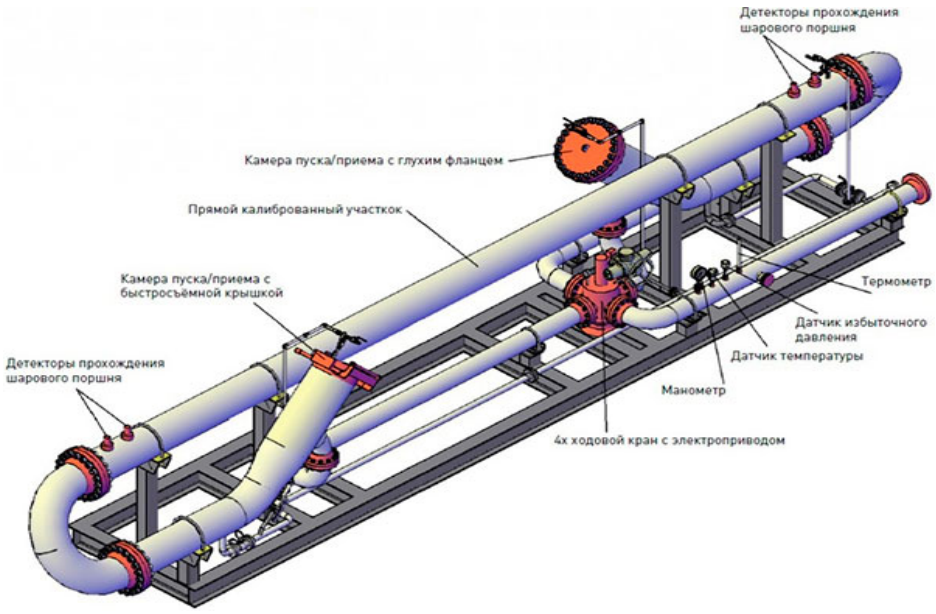


Рис. 1. ТПУ с описанием основных элементов

В ТПУ применяются поршни, выполненные в виде полого шара, изготовленного из буна, неопрена, нитрила или полиуретана. В шар закачивается жидкость (вода или этиленгликоль) под избыточным давлением до достижения шаром диаметра, превышающего диаметр труб калиброванного участка (так называемый «натяг»), чтобы исключить протечки жидкости между поршнем и стенками трубопровода. Отсутствие протечек жидкости является одним из основных условий для правильного определения вместимости ТПУ и проведения поверки СИ расхода. [2]

Для определения объема калиброванного участка ТПУ в отечественной и зарубежной практике применяются следующие методы:

- поверка с применением образцовых весов или мерников;
- поверка с применением другой ТПУ (или компакт-прувера) и компаратора;
- поверка с применением мерника и объемного счетчика.

Принцип первого метода основан на измерении объема воды, вытесненного из калиброванного участка ТПУ шаровым поршнем при движении от одного детектора до другого. Вытесненная вода направляется в емкость, где измеряется ее объём прямым методом с применением мерника или косвенным методом – с применением весов и ареометров.

При втором методе поверки СИ расхода, входящее в состав СИКН, используется в качестве компаратора, с помощью которого сличаются объёмы эталона, в качестве которого используется ТПУ 1-го разряда или компакт-прувер, и поверяемой ТПУ 2-го разряда. Трудозатраты этого метода по сравнению с предыдущим меньше.

Применение образцового счётчика для поверки ТПУ основано на том, что некоторые счётчики очень высокую стабильность показаний при постоянных расходах, вязкости и температуре. Счётчик, поверенный по специальной методике в стабильных условиях, может быть использован в таких же условиях как образцовое средство измерения для поверки ТПУ. Объём ТПУ с помощью образцового счётчика определяется непосредственным сличением.

С целью экспериментальной оценки применимости различных методик поверки были исследованы метрологические характеристики ТПУ по различным методикам поверки [3]. В качестве ТПУ была рассмотрена – установка трубопоршневая поверочная двунаправленная Smith-100, номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений № 12888-99.

Результаты исследований метрологических характеристик установки трубопоршневой поверочной двунаправленной Smith-100 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование параметра	Значение		
	МИ 1972-95	МИ 2974-2006	МП 0828-14-2018
Диапазон расходов ТПУ, $м^3/ч$	от 11,6 до 100,0	Q_1=36,77; Q_2=15,67	Q_1=60,2; Q_2=30,4
Вместимость калиброванного участка V_0, $м^3$	1,5175	1,51620	1,51655
Среднеквадратическое отклонение случайной составляющей погрешности S_0, %	0,014	0,004	0,006
Границы погрешности определения среднего значения вместимости, Θ_{V0}, %	0,020	0,012	0,006
Границы суммарной систематической составляющей погрешности, $\Theta_{\Sigma 0}$, %	0,024	0,061	0,085
Относительная погрешность, δ_0, %	0,048	0,061	0,086

Проведя экспериментальные исследования по различным методикам, проанализируем полученные результаты. Как можно увидеть из таблицы 1 вместимость калиброванного участка V_0, полученная при разных методах поверки получается различной. Первый метод – позволяет добиться наивысшей точности, однако он осуществляется на воде, проводится на малых расходах, часто ниже минимального расхода диапазона. В случае поверки ТПУ по ТПУ 1-го разряда или с применением компакт-прувера погрешность получается выше в связи с тем, что при поверке к погрешности ТПУ 1-го разряда добавляется еще погрешность компаратора. По этой же причине суммарная систематическая составляющая погрешности тоже получается больше, чем в случае поверки ТПУ по мернику или весам. Однако причиной расхождения может быть также протечки между шаровым поршнем и участком трубопровода, на что указывают многие авторы. В перечисленных выше методиках поверки отсутствует количественная оценка влияния утечек на метрологические характеристики. В связи с этим был предложен метод количественной оценки определения утечек жидкости между шаровым поршнем и стенками калиброванного участка трубопровода ТПУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Исследование метрологических характеристик трубопоршневой установки с учетом утечек жидкости между шаровым поршнем и трубопроводом / А.С. Шабалин, О.К. Шабалина, Р.Н. Груздев, Э.В. Фролов // Законодательная и прикладная метрология. – 2018. - № 5. - с.35-37.

2. Анализ существующих методов оценки утечек жидкости между шаровым поршнем и трубопроводом в ТПУ / О.К. Шабалина, А.С. Шабалин // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2019. – № 2 – с.46-49.

3. Анализ существующих методов поверки ТПУ и способы повышения точности ТПУ / О.К. Шабалина, А.С. Шабалин // Приборы. – 2019. – № 4 – с. 35-39.

STUDY OF FACTORS INFLUENCING THE METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE PIPE RING TEST INSTALLATION

Shabalina O.

geogmord@mail.ru

Supervisor: A. Soyko, Candidate of Technical Sciences

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

Pipe-piston calibration installation (TPU) is an important link that ensures the accuracy of oil and oil products accounting by measuring systems of quantity and quality indicators of oil and oil products (SIKN). Metrological characteristics of the entire SIKN as a whole depend on the accuracy of the TPU calibration. In this regard, it is very important to know and take into account factors affecting the metrological characteristics of TPU. This article is dedicated to this important topic.

УДК 658.516.1

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СЕРТИФИКАЦИИ ЭКЗЕМПЛЯРА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Яблонская Р.Т.
ryablonskaya@icloud.com
Научный руководитель: Ф.М. Галимов, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Рассмотрены проблемы проведения сертификации экземпляра воздушного судна, эксплуатируемого в Российской Федерации. Разработаны практические рекомендации, позволяющие повысить эффективность проведения процедур сертификации экземпляра воздушного судна.

В современных условиях мировой рынок авиационной техники (АТ) выдвигает очень жесткие требования к поступающей продукции. Требования мирового рынка заставляют его производителей создавать конкурентоспособную АТ, отвечающая требованиям клиентов.

Продукция имеет высокое качество, если полностью соответствует указанным требованиям и стандартам. Однако наличие требований и стандартов пока не обеспечивает высокого качества продукции. Требуется механизм подтверждения. Такой механизм - сертификация.

Сертификация гражданской авиационной техники основана на ее соответствии требованиям безопасности полетов и охраны окружающей среды. Представленные требования в виде национальных стандартов летной годности должны быть согласованы с аналогичными стандартами других государств и не противоречить международным рекомендациям. Аналогичным образом Правила сертификации гражданской авиационной техники должны быть приведены в соответствие с аналогичными Правилами других государств. Эти подходы позволяют сделать сертификацию стандартной конструкции гражданской авиационной техники прозрачной и понятной иностранным заказчикам.

Воздушный кодекс РФ устанавливает правовые рамки использования воздушного пространства и деятельности в области авиации.

В соответствии с Кодексом Российской Федерации все воздушные суда должны иметь сертификат летной годности [1].

На территории России вопросы сертификации авиационной техники переданы в юрисдикцию Межгосударственный авиационный комитет (МАК). Это постоянный орган.

Сертификация воздушного судна –это процедура проверки соответствия воздушного судна требованиям нормативно-технической документации. В результате чего оформляется сертификат летной годности.

Сертификация воздушных судов производится в соответствие с процедурами, указанными в Приказе Министерства Транспорта Российской Федерации № 132 от 16.05.2003г., Федеральные авиационные правила. "Экземпляр воздушного судна. Требования и процедуры сертификации" (ФАП-132)[2].

Сертификаты летной годности оформляют в Межрегиональном территориальном управление Федерального агентства воздушного транспорта (Росавиация) на основании Заключения о годности воздушного судна, выданного организацией по сертификации экземпляра воздушного судна. На сегодняшний день существует 15 межрегиональных территориальных управлений Федерального агентства воздушного транспорта.

Правила проведения сертификации экземпляра ВС:

1. Заявитель подает заявку на сертификацию экземпляра ВС в Росавиацию или его территориальный орган.

2. Росавиация или его территориальный орган в двухнедельный срок уведомляет заявителя о принятии к рассмотрению или отказе в принятии заявки на сертификацию экземпляра ВС.

3. При положительном решении Росавиация или его территориальный орган привлекает в установленном порядке научную или иную организацию для выполнения работ по оценке соответствия летной годности экземпляра ВС установленным требованиям.

4. Заявитель предъявляет экземпляр ВС привлекаемой организации для проведения работ по оценке соответствия экземпляра ВС установленным требованиям.

5. Программа разрабатывается привлекаемой организацией и согласовывается с Росавиацией или его территориальным органом.

6. По результатам выполнения программы привлекаемая организация оформляет заключение по оценке соответствия летной годности экземпляра ВС установленным требованиям.

7. По результатам выполнения программы привлекаемая организация оформляет заключение по оценке соответствия летной годности экземпляра ВС установленным требованиям.

8. Уполномоченный орган в области гражданской авиации или его территориальный орган принимает решение о выдаче заявителю сертификата летной годности экземпляра ВС Срок действия сертификата летной годности 1 год в пределах назначенного ресурса, назначенного срока службы, межремонтного ресурса, межремонтного срока службы[3].

В процессе выполнения процедуры сертификации экземпляра воздушного судна на соответствие требованиям эксплуатационной документации, а также для оформления заключения о годности воздушного судна и дальнейшего получения сертификата летной годности выявляются общие проблемы:

1) Воздушное судно и его документация не соответствуют определенным требованиям:

– действующая эксплуатационная документация не содержит все изменения и дополнения;

– пономерная документация не содержит все необходимые записи.

2) В процессе заключения процедуры сертификации инспекционной комиссии выявляется:

– Комиссия в ходе инспекционной проверки детально не проверяет воздушное судно, а именно в комплектовании соответствующим оборудованием и обеспечением соответствующей эксплуатационной документацией;

– Комиссия в ходе инспекционной проверки не объективно оценивает состояние пономерной и доказательной документации, которая влияет на безопасность полетов авиационной техники;

– Комиссия в ходе инспекционной проверки формально относится к выявлению замечаний и недостатков.

3) Существенным недостатком действующей системы сертификации воздушных судов в Российской Федерации является принадлежность каждой Эксплуатирующей организации к Межрегиональному территориальному управлению Федерального агентства воздушного транспорта. Эксплуатанты проводят сертификацию экземпляра воздушного судна в различных Организациях по сертификации ЭВС, существующих в различных территориальных регионах. Данный метод проведения сертификации воздушных судов для эксплуатирующей организации не рационален.

Исходя из наличия имеющихся проблем и недостатков в процессе проведения сертификации экземпляра воздушного судна в Российской Федерации, разработаны практические рекомендации, позволяющие повысить эффективность процесса проведения сертификации:

1) Эксплуатантам экземпляра воздушного судна корректно оформлять эксплуатационную, пономерную документацию;

2) Эксплуатирующей организации вовремя устранять замечания и недостатки, выявленных инспекционной комиссией в проверке соответствия экземпляра воздушного судна требованиям Федеральным авиационным правилам – 132;

3) Инспекционной комиссии внимательно проверять пономерную, доказательную

документацию, которая влияет на безопасность полетов авиационной техники;

4) Инспекционной комиссии проверять воздушное судно, а именно в комплектации соответствующим оборудованием и обеспечением соответствующей эксплуатационной документацией;

5) Инспекционной комиссии пройти обучение по повышению квалификации;

6) Для оптимизации процесса проведения сертификации экземпляра воздушного судна является необходимостью создания Территориального управления Федерального агентства воздушного транспорта в каждом регионе, которые в свою очередь обеспечат для эксплуатирующей организации своевременное оформление сертификата летной годности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Воздушный кодекс Российской Федерации. Федеральный закон принят Государственной Думой 19 февраля 1997 года. Одобрен Советом Федерации 5 марта 1997 г.

2. Приказ Министерства Транспорта Российской Федерации., Федеральные авиационные правила. "Экземпляр воздушного судна. Требования и процедуры сертификации" от 16 мая 2003 г. № 132.

3. *Ялоза Ю.А.* Эксплуатационно-технические характеристики самолета: учебное пособие. Москва. МАИ, 2017г.

ACTUAL PROBLEMS OF CERTIFICATION OF AN INSTANCE OF AIRCRAFT IN RUSSIA

Yablonskaya R.

ryablonskaya@icloud.com

Supervisor: F. Galimov, Doctor of Technical Sciences, Professor

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

The problems of certification of the aircraft operated in the Russian Federation are considered. Developed practical recommendations to increase the effectiveness of the procedures of certification of the instance of the aircraft.

ПОДСЕКЦИЯ 5.5

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 629.11.066

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Ахмадеев Р. Д.
rustam-ahm@yandex.ru
Научный руководитель: В.П. Горячкин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной работе рассматриваются основные проблемы и недостатки систем электроснабжения автомобиля, осуществляется постановка задач необходимых для дальнейших исследований.

Актуальность настоящей работы заключается в необходимости повышения уровня работоспособности агрегатов автомобиля.

Основными показателями уровня работоспособности считаются: износ ДВС, воздействие выбросов на загрязнение окружающей среды, продолжительность подготовки автомобиля к работе в температурных и экстремальных условиях.

Данные показатели в большей степени зависят от качества работы электрооборудования автомобильной техники. На данный момент все системы электрооборудования автомобилей построены так, что все потребители соединены параллельно и подключены к бортовой сети. При данном подключении системы электрооборудования оказывают влияние друг на друга через общий источник питания, что не обеспечивает высокой работоспособности. Так к придает возможности получения бесперебойного искрообразования, и делает иным пуск ДВС. Оптимально выбранным напряжением для аккумуляторной батареи является уровень 13,9 ± 0,1В, при этом регулятор напряжения должен быть настроен на диапазон 13,2-14,4 В, а номинальное напряжение ламп накаливания – 12 В. В случае питания потребителей электрической энергии не берут во внимание их особенности, режимы работы двигателя внутреннего сгорания и внешние факторы окружающей среды. Так, например, система пуска влияет не только на износ двигателя, но и на его надежность; система зажигания устанавливает качество воспламенения рабочей смеси, оказывает влияние на динамические показатели автомобиля, качество сгорания топлива, экономию топлива, и, как следствие, экологию окружающей среды. Система охлаждения двигателя должна поддерживать температуру двигателя в строго определенных пределах; отклонение температуры влияет как на токсичность отработавших газов, так и на ресурс работы двигателя, его топливную экономичность и тягово-скоростные свойства. Настройки системы электроснабжения оказывают влияние на срок службы аккумуляторной батареи и остальных потребителей электроэнергии, а также на пусковые качества двигателя.

Устранение выше упомянутых отрицательных параметров в работе электрооборудования автомобиля является актуальной задачей в решении проблемы повышения работоспособности АТ в целом.

Анализ назначения, состава и состояния существующего парка автомобильной техники в нашей стране характеризуется большой многомарочностью, моральной и физической изношенностью.

В этой связи, завышенные требования к автомобильному оборудованию обуславливают необходимость специального исследования вопросов, связанных с надежностью и работоспособностью при низких температурах. Особое значение приобретает требование быстрого и безотказного запуска двигателей АТ в любых температурных условиях при минимальном времени выхода на номинальные рабочие режимы.

В следствии этого, основной задачей является повышение пусковых качеств ДВС автомобильной техники при помощи совершенствования технических характеристик основных систем электрооборудования, обеспечивающих надежный пуск ДВС: электростартерной системы пуска, системы электроснабжения и системы зажигания.

Электростартерная система представляет собой основное средство пуска ДВС автомобильной техники. Пусковые качества двигателя оцениваются следующими основными параметрами:

• предельной температурой надежного пуска;

• временем подготовки;

Для запуска ДВС важную роль играют следующие системы электрооборудования АТ: электрического пуска, электроснабжения и зажигания.

Электростартерная система пуска с АКБ должна обеспечивать необходимую для надежного пуска холодного двигателя частоту вращения коленчатого вала с общим числом попыток пуска не менее трех. При пуске двигателя после предпускового подогрева электростартерная система пуска с аккумуляторной батареей должна обеспечивать необходимую для надежного пуска частоту вращения коленчатого вала при температуре электролита АКБ не ниже минус 35С .

Тип системы пуска определяется конструкцией основного пускового устройства и видом используемой энергии – стартера, который преобразует полученную АКБ электроэнергию механическую работу вращения коленчатого вала.

Из требований, предъявляемых к системе пуска двигателя вытекают и требования к ее электростартерной части. Которые, в свою очередь, подразделяются на требования к аккумуляторным батареям и стартерам.

Имеется два основных способа заряда АКБ: заряд при постоянном значении зарядного тока, при этом расчетное напряжение должно быть 2,7 В на один аккумулятор (применяется на аккумуляторных заводах при формировании электродов, а также на зарядных станциях); заряд при постоянном значении зарядного напряжения, при этом напряжение должно быть 2,3—2,4 В на один аккумулятор (применяется непосредственно на автомобилях).

Генераторная установка не только разгружает аккумуляторную батарею, беря на себя часть нагрузки, но и поддерживает саму аккумуляторную батарею в рабочем состоянии, осуществляя ее подзаряд. Эти функции требуют автоматического управления, которое осуществляет реле-регулятор напряжения бортовой сети.

При выборе генератора приходится учитывать противоречивые требования: с одной стороны, - положительный баланс электроэнергии, с другой - минимальные потери энергии и минимальную стоимость генератора. Совершенствование регулятора напряжения способствует оптимизации работы и батареи, и генератора.

Усовершенствование генераторных установок ведет за собой создание генераторов, регуляторов и выпрямителей в едином общем корпусе. Регуляторы напряжения, собранные на дискретных элементах, отличаются большими размерами и меньшей надёжностью, и в следствии этого постепенно заменяются интегральными.

Основной недостаток регуляторов заключается в следующем. Погрешность их срабатывания составляет десятые доли вольта 2,3-2,4В на аккумулятор, что вступает в явное противоречие с задачами увеличения срока службы батарей и обеспечения холодного пуска двигателя, который рекомендуется проводить при полном заряде АКБ.

Таким образом, точность настройки регуляторов напряжения должна быть повышена.

В ходе анализа основных проблем систем электрооборудования автомобильной техники можно сделать следующие выводы:

- срок службы АКБ и ее готовность к пуску двигателя в большей степени определяются точностью регулирования степени ее заряда, откуда следует очевидная необходимость использования адаптивных систем электроснабжения, применяя которые можно повысить эксплуатационные характеристики батарей;

- погрешность настройки около десятых долей вольт существующих регуляторов напряжения не обеспечивает готовности АКБ к пуску и максимального срока ее службы, хотя по трудоемкости технического обслуживания они занимают первое место среди приборов электрооборудования;

- существующие на сегодняшний день регуляторы напряжения не гарантируют

необходимой компенсации зависимости температуры ЭДС аккумуляторной батареи, с точки зрения ее готовности к пуску ДВС и максимального срока службы;

- аккумуляторная батарея имеет ограничения по низкотемпературному пуску ДВС;
- использование конденсаторных накопителей энергии с целью улучшения пусковых характеристик двигателей АТ при последовательном соединении с АКБ повышает пусковое напряжение в пределах, превышающих допустимые, а при параллельном соединении возможности накопителей энергии используются не в полной мере;
- существенный диапазон колебаний напряжения бортовой сети учитывается в существующих системах зажигания избыточным коэффициентом запаса по вторичному напряжению, что уменьшает ресурс аппаратов зажигания и надежность;
- низкий коэффициент полезного действия и эргономические характеристики присущи электроприводу вспомогательного оборудования.

Опираясь на выводы, полученные в результате анализа можно поставить задачи, необходимые для дальнейших исследований:

1. осуществить анализ проблем электроснабжения бортовых потребителей электроэнергии АТ;
2. разработать математическую модель электрического пуска ДВС в широком диапазоне питающих напряжений электродвигателя стартера;
3. произвести разработку численной модели функционирования системы зажигания ДВС для существенного диапазона напряжений, теоретически обосновать систему автоматического регулирования системы зажигания, обеспечивающую устойчивую величину коэффициента запаса по вторичному напряжению;
4. провести теоретические исследования, выявить и сформулировать закономерности изменения эксплуатационных характеристик потребителей энергии в зависимости от величины подаваемых напряжений системы электроснабжения и на основе выявленных закономерностей исследовать возможности увеличения срока службы аккумуляторных батарей, установленных на автомобиле;
5. провести исследование зависимости эксплуатационных характеристик электроприводов вспомогательного оборудования систем отопления салона и вентиляции, стеклоочистителей, стеклоподъемников, охлаждения ДВС от подаваемых напряжений и теоретически доказать возможность автоматического регулирования величины их напряжений;
6. на основе математических моделей, предложенных теоретических положений, полученных экспериментальных зависимостей, провести разработку принципов построения бортового электрооборудования АТ, предусматривающие дифференцированное напряжение потребителей и постепенное изменение подаваемых напряжений первичных источников на основе высокочастотного импульсного автоматического регулирования с помощью адаптивных преобразователей параметров электрической энергии при напряжениях больших и меньших напряжений основных источников с целью получения экономичных и рациональных характеристик электрооборудования;
7. произвести разработку принципиально новых эффективных электрических устройств и технические решения для основополагающих систем электрооборудования АТ с адаптивными преобразователями характеристик электрической энергии, обеспечивающие повышение качеств пусковых свойств ДВС, бесперебойное искрообразование системы зажигания, улучшение характеристик эксплуатации системы электроснабжения, учитывая режимы работы потребителей энергии, улучшение скоростных, эргономических, температурных и других эксплуатационных характеристик, обеспечиваемых электроприводом;
8. провести экспериментальные исследования усовершенствованных систем пуска, зажигания, электроснабжения, электропривода вспомогательного оборудования с разработанными адаптивными преобразователями параметров электрической энергии в автомобильной технике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Терещук В.С., Новосельский В.Г., Ференец А.В., Дудка Н.А., Шакирзянова Н.Ш.* Основы электроснабжения автомобилей и тракторов: учеб. пособие / В.С. Терещук, В.Г. Новосельский, А.В. Ференец, Н.А. Дудка, Н.Ш. Шакирзянова. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010. – 205 с.

2. Совершенствование систем электрооборудования автомобилей на основе адаптивных преобразователей электрической энергии. Электронный ресурс. Режим доступа: http://miit.ru/content/Диссертация.pdf?id_wm=766712

ALTERNATIVE VARIANTS OF REALIZATION OF THE SYSTEM OF ELECTRICAL SUPPLY OF CARS

Akhmadeev R.

rustam-ahm@yandex.ru

Supervisor: V. Goryachkin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

This paper discusses the main problems and shortcomings of the vehicle's power supply systems, sets the tasks necessary for further research.

УДК 62-9

РАСЧЕТ НА ПОТЕРЮ НАПРЯЖЕНИЯ РАЗОМКНУТЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Зайнуллин А.А.

artemzajnulin@mail.ru

Научный руководитель: Н. Ш. Шакирзянова

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

В данной работе проводится расчет на потерю напряжения разомкнутых электросетей бортового оборудования летательного аппарата. Были разобраны три способа расчета на потерю напряжения в линии.

Расчет сети на потерю напряжения сводится к определению сечений участков S_k при заданных токах нагрузки $l_{k\,н}$, длинах участков l_k и конфигурации сети, при которых потеря напряжения в сети ΔU не превышает допустимого значения $\Delta U_{доп}$

$\Delta U \leq \Delta U_{доп}$

В любой разомкнутой сети по известным токам нагрузок I_{kH} просто определяются токи на участках линии l_k, значение которых необходимо для определения сечений участков S_k

В данной работе будет представлен расчет разомкнутой произвольно разветвленной сети (см. рисунок 1).

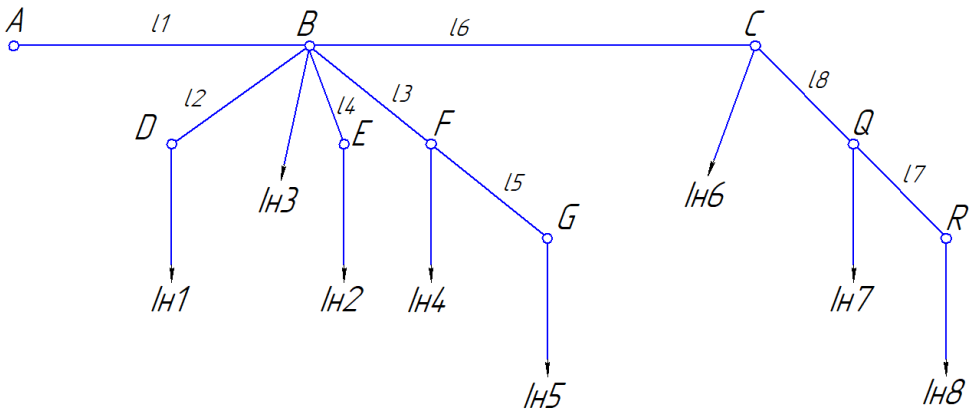


Рис. 1. Разомкнутая разветвленная сеть

Сосредоточив все нагрузки в точках магистрали получено схема разомкнутой сети с несколькими сосредоточенными нагрузками представлена на рисунке 2.

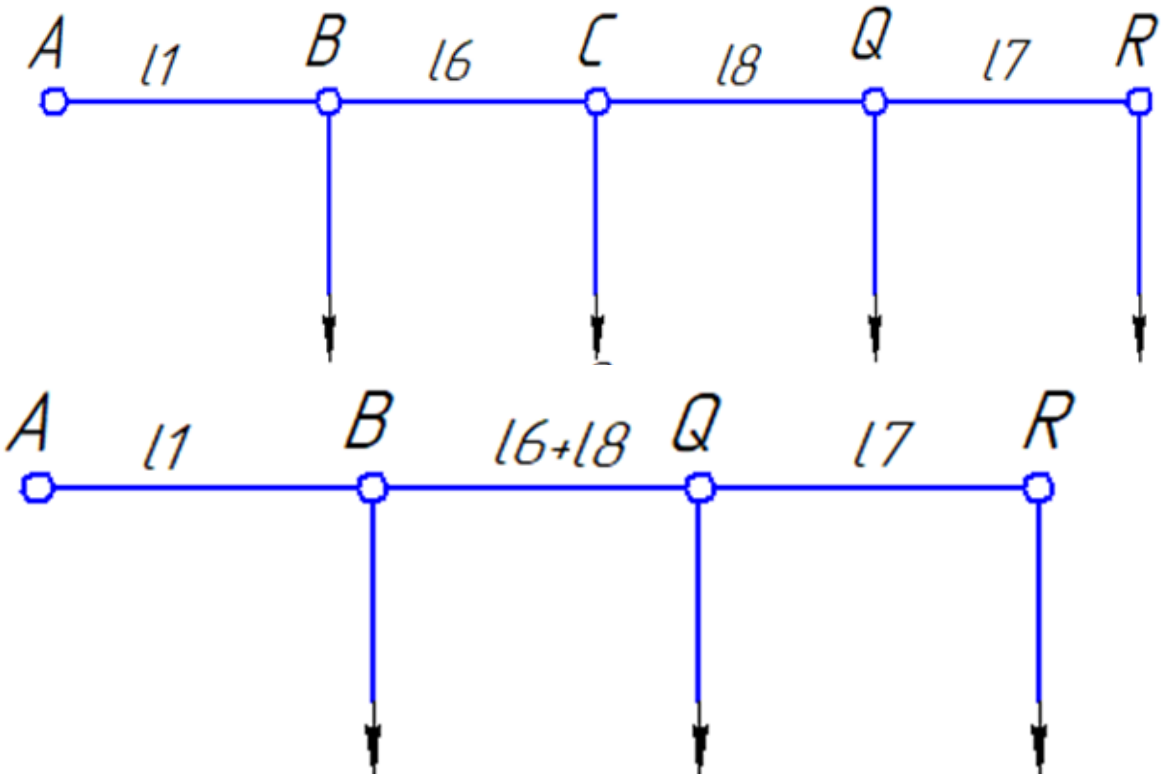


Рис. 2. Разомкнутая сеть с несколькими сосредоточенными нагрузками

Первый вид расчета: 1) Расчет сети при постоянстве сечения ($S = S_k$ =const)

$$\Delta U = \sum_{k=1}^{n} I_k r_k = \sum_{k=1}^{n} I_k \frac{l_k}{\gamma \cdot S_k} = \frac{1}{\gamma \cdot S_k} \sum_{k=1}^{n} I_k \, l_k$$

$$\Delta U = \sum_{k=1}^{n} I_{kH} R_{ka} = \sum_{k=1}^{n} I_{kH} \frac{l_{ka}}{\gamma \cdot S_k} = \frac{1}{\gamma \cdot S} \sum_{k=1}^{n} I_{kH} \, l_{ka}$$

Введем понятие – суммарный момент токов относительно пункта А из уравнений и запишется

$$M = \sum_{k=1}^{n} I_{kH} l_{ka} = \sum_{k=1}^{n} I_k \, l_k$$

Искомое сечение сети S находится:

$$S = \frac{M}{\gamma U_{доп}};$$

Обьем проводящего материала получается :

$V_1 = s \cdot L$

2) Расчет сети при постоянстве плотности тока *(j_k,$\gamma_{расч}$– const)*

$$\Delta U = \sum_{k=1}^{n} I_k r_k = \sum_{k=1}^{n} I_k \frac{l_k}{\gamma \cdot S_k} = \frac{j_k}{\gamma} \sum_{k=1}^{n} l_k = \frac{j_{расч} \cdot L}{\gamma}$$

Из (4) определяем велечину плотности тока:

$$jрасч = \frac{\gamma \Delta U доп}{L}$$

где L – длина линии с допустимой потерей напряжения

$\Delta U_{доп}$.– допустимые потери напряжения в линии.

$$jрасч = \frac{\gamma \Delta U доп}{L}$$

Тогда сечение участков сети

$$Sk = \frac{I_k}{jрасч};$$

Сечение 1 участка сети:

$$S_1 = \frac{I_1}{jрасч}$$

Сечение 2 участка сети:

$$S_2 = \frac{I_2}{jрасч}$$

Сечение 3 участка сети:

$$S_3 = \frac{I_3}{jрасч}$$

В первых двух случаях т.е при S = const и $\gamma_к$ = const обьем меди получается одинаковым

$V_2 = s \cdot L$

3) Расчет сети на минимум веса *($V = V_{min}$)*

$$V = \sum_{k=1}^{n} v_k = \sum_{k=1}^{n} S_k l_k$$

Потеря напряжения на участке

$$\Delta U_k = I_k r_k = \frac{I_k \cdot l_k}{\gamma \cdot S_k}$$

имеем:

$$v = \sum_{k=1}^{n} \frac{I_k \cdot l_k^2}{\gamma \cdot \Delta U_k} =$$

$$= \frac{I_1 \cdot l_1^2}{\gamma \cdot \Delta U_1} + \frac{I_2 \cdot l_2^2}{\gamma \cdot \Delta U_2} + \cdots + \frac{I_k \cdot l_k^2}{\gamma \cdot \Delta U_k} + \cdots \frac{I_k \cdot l_k^2}{\gamma \cdot \Delta U_k} + \cdots + \frac{I_{n-1} \cdot l_{n-1}^2}{\gamma \cdot \Delta U_{n-1}}$$

$$+ \frac{I_n \cdot l_n^2}{\gamma \cdot [\Delta U_{доп} - (\Delta U_1 + \Delta U_2 + \cdots + \Delta U_k + \cdots + \Delta U_{n-1})]}$$

Найдем минимум функции $U = U(\Delta U_1 \, \Delta U_{2\ldots} \, \Delta U_{k\ldots\ldots} \, \Delta U_{n\text{-}1})$.

Из уравнения (7) получим

$$\frac{\partial U}{\partial(\Delta U_k)} = -\frac{I_k \cdot l_k^2}{\gamma \cdot \Delta U_k} +$$

$$+\frac{I_n \cdot l_n^2}{\gamma \cdot [\Delta U_{доп} - (\Delta U_1 + \Delta U_2 + \cdots + \Delta U_k + \cdots + \Delta U_{n-1})]^2} = 0$$

Из уравнения (4. 22) с учетом (4. 21) определяем постоянную

$$C = \frac{\sum_{k-1}^{n} \sqrt{I_k} \cdot l_k}{\gamma \cdot \Delta U_{доп}}$$

Сечение участков сети

$$S_k = C\sqrt{I_k}$$

Сечение 1 участка сети:

$S_1 = C\sqrt{I_1}$

Сечение 2 участка сети:

$S_2 = C\sqrt{I_2}$

Сечение 3 участка сети:

$S_3 = C\sqrt{I_3}$

$V_3 = S_1 l_1 + S_2 l_2 + S_3 l_3$

Проверим выбранные сечения по допуустимому току. Если $I_{доп} > I_к$. Здесь $I_{доп}$ – допустимый ток провода данного сечения , проложенный внутри фюзеляжа , одиночный ; $I_к$ –расчетный ток провода .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гельман М.В., ДудкинМ.М., Преображенский К.А*., Преобразовательная техника, Челябинск:Издательский центр ЮУрГУ, 2009.

2. *Джюджи Л., Пелли Б.* Силовые полупроводниковые преобразователи частоты: Теория, характеристики, применение. Пер. с англ.– М.: Энергоатомиздат, 1983.– 400 с.

3. *Трещ А.М.* Моделирование солнечных батарей в среде Matlab/Simulink, Минск: Белорусский нац. техн. университет, 2013.

BERECHNUNG DES SPANNUNGSVERLUSTES OFFENER ELEKTRISCHER NETZWERKE VON FLUGZEUGGERÄTEN

Zainullin A.

artemzajnulin@mail.ru

Wissenschaftlicher Berater: N. Shakirzyanova

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

In dieser Arbeit wird die Berechnung des Spannungsverlusts der offenen elektrischen Systeme der Bordausrüstung des Flugzeugs durchgeführt. Demontiert wurden drei Möglichkeiten, um den Spannungsverlust in der Leitung zu berechnen.

УДК 62-9

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Зайнуллин А.А.
artemzajnulin@mail.ru
Научный руководитель: Н. Ш. Шакирзянова
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной работе проводится расчет токов короткого замыкания. Бортовой сети летательного аппарата. В результате которого были получены значения сопротивлений лини при коротком замыкании.

Одним из самых важных расчетов электрических сетей летательных аппаратов, является расчет тока короткого замыкания (КЗ).

Для нахождения силы токов КЗ по схеме соединений первичной распределительной сети составляется расчетная схема, на которую наносятся основные технические данные, необходимые для расчета (типы источников, длина и тип проводов линий электропередачи).

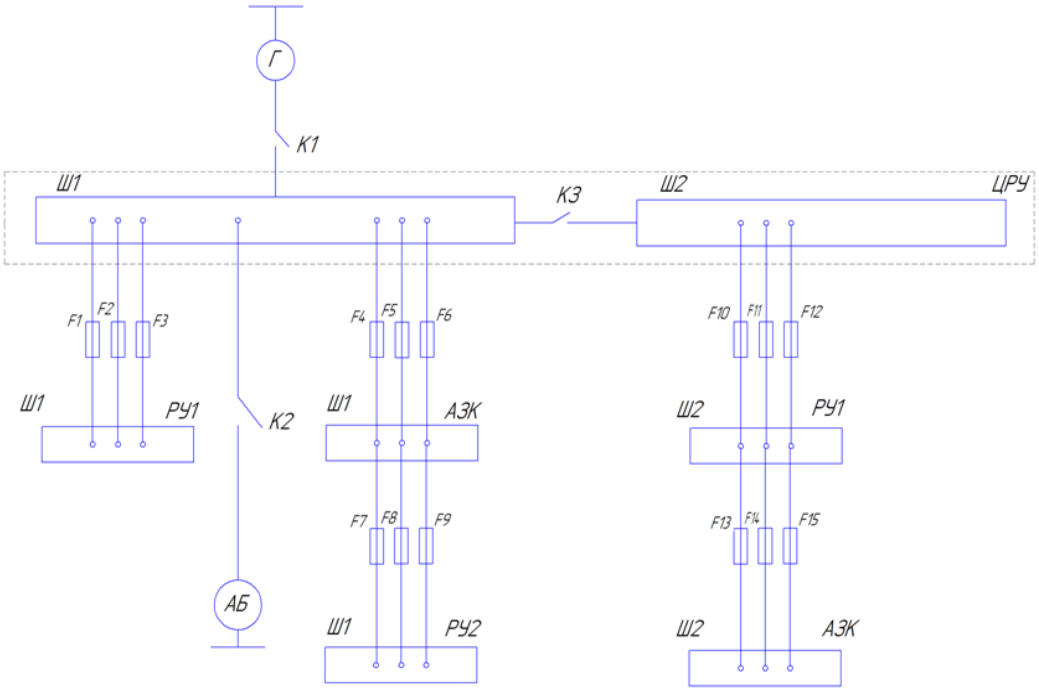


Рис. 1. Распределительная электрическая сеть

Расчетная схема приведена на рисунке 2.

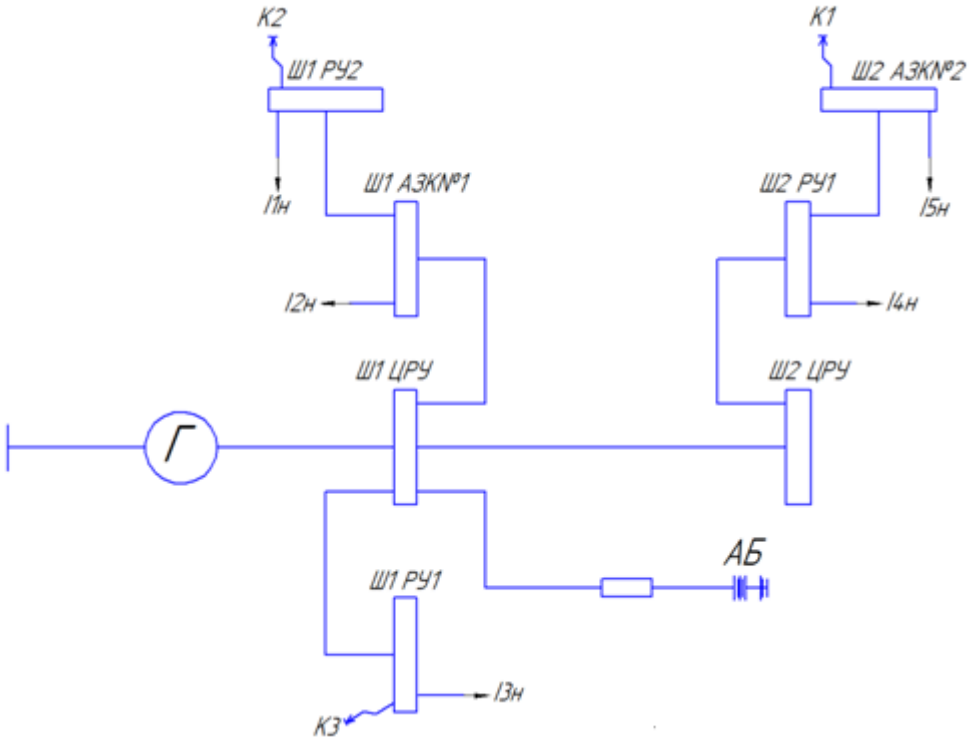


Рис. 2. Расчетная схема

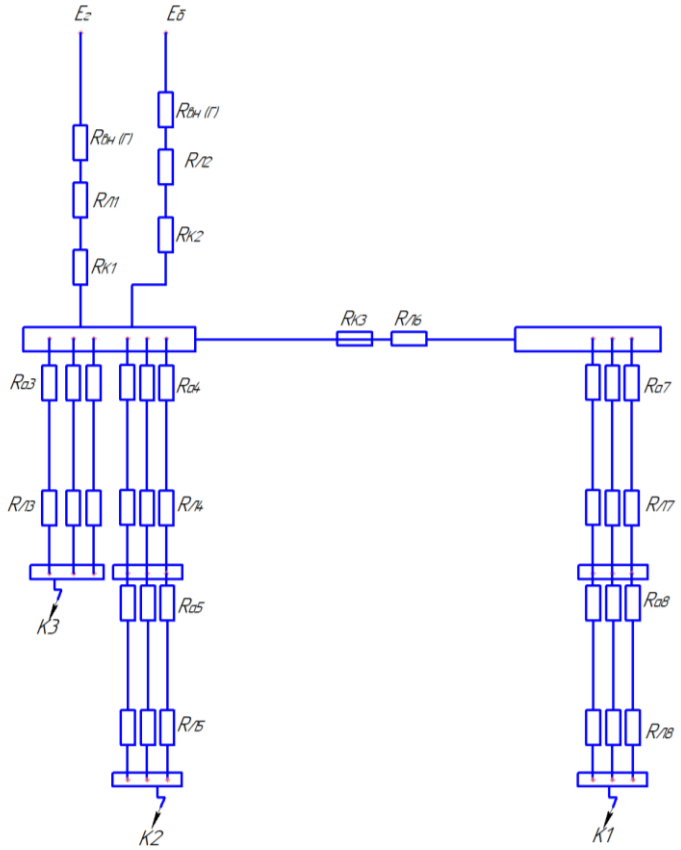


Рис. 3. Схема замещения

Эквивалентные эдс и сила токов КЗ на клеммах выпрямительных установок$E_{ВУ}$ и $I_{К.ВУ}$,

генераторов$E_Г$ и $I_{К.Г}$, аккумуляторов $E_Б$ и $I_{К.Б}$ определяется по их внешим и вольт-амперным характеристикам. Значения эдс рассчитываютя по пересечению линеаризованной внешней характеристики с осью ординат, а сила тока КЗ−по пересечению с осью абсцисс. При этом для генераторов эквивалентная эдс определяется по внешней характеристике переходного режима.

Сопротивления элементов расчетной схемы определяются в именованных единицах. Внутренние сопротивление генератора и батареи $r_{вн.Г}$ и $r_{вн.Б}$ (Ом) определяется по формулам:

$$r_{вн.Г} = \frac{E_Г}{I_{К.Г}},$$

$$r_{вн.Б} = \frac{E_Б}{I_{К.Б}}$$

где $E_Б$ − эдс аккумуляторной батареи, $E_Г$ − эдс генератора, $I_{К.Б}$ − сила тока КЗ аккумуляторной батареи,

$I_{К.Г}$ − сила тока КЗ генератора.

Сопротивления участков сети $R_Л$ определяются по формуле:

$$R_Л = \frac{(R_М)_{пост} \cdot l}{n},$$

где$(R_М)_{пост}$ − сопротивление (Ом) 1 м провода;l −длина провода; n − число параллельных проводов в линии.

Сопротивление линии генератор-ЦРУ Ш1:

$$R_{Л1} = \frac{(R_М)_{пост} \cdot l}{n},$$

Сопротивление линии ЦРУ Ш1 -АБ:

$$R_{Л2} = \frac{(R_М)_{пост} \cdot l}{n},$$

Сопротивление линии ЦРУ Ш1-РУ1 Ш1:

$$R_{Л3} = \frac{(R_М)_{пост} \cdot l}{n},$$

Сопротивление линии ЦРУ Ш1-АЗК1 Ш1:

$$R_{Л4} = \frac{(R_М)_{пост} \cdot l}{n}$$

Сопротивление линии ЦРУ Ш1-РУ2 Ш1:

$$R_{Л5} = \frac{(R_М)_{пост} \cdot l}{n}$$

Сопротивление линии ЦРУ Ш1-ЦРУ Ш2:

$$R_{Л6} = \frac{(R_М)_{пост} \cdot l}{n}$$

Сопротивление линии ЦРУ Ш2-РУ1 Ш2:

$$R_{Л7} = \frac{(R_М)_{пост} \cdot l}{n}$$

Сопротивление линии ЦРУ Ш2-АЗК2 Ш2:

$$R_{Л8} = \frac{(R_М)_{пост} \cdot l}{n}$$

Таким образом, были получены значения сопротивлений линий при КЗ, которые можно применять для дальнейших расчетов. После расчета токов КЗ выбираются автоматические выключатели и вся необходимая аппаратура для надежной работы электрической сети бортового оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гельман М.В., ДудкинМ.М., Преображенский К.А*., Преобразовательная техника, Челябинск:Издательский центр ЮУрГУ, 2009.

2. *Джюджи Л., Пелли Б.* Силовые полупроводниковые преобразователи частоты: Теория, характеристики, применение. Пер. с англ.– М.: Энергоатомиздат, 1983.– 400 с.

3. *Трещ А.М.* Моделирование солнечных батарей в среде Matlab/Simulink, Минск: Белорусский нац. техн. университет, 2013.

BERECHNUNG DER ELEKTRISCHEN KURZSCHLUSSSTRÖME NETZE VON FLUGZEUGEN

Zainullin A.

artemzajnulin@mail.ru

Wissenschaftlicher Berater: N. Shakirzyanova

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

In dieser Arbeit die Berechnung von Kurzschlussströmen. Bordnetz des Flugzeugs. Infolgedessen wurden die Widerstandswerte der Leitung während eines Kurzschlusses erhalten.

УДК 621.313.823.3

МОТОР-КОЛЕСО ДЛЯ ШАССИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Каримов А. Р.

artur.karim@yandex.ru

Научный руководитель: А.Ю. Афанасьев, д-р техн. наук, профессор

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

В данной работе предложено мотор-колес с синхронным электродвигателем для шасси летательного аппарата. Представлена конструкция мотор-колеса, система торможения и рекуперации электрической энергии. Показано распределение магнитодвижущей силы (МДС) в рабочем зазоре прототипа и предложенного варианта мотор-колеса с численными показателями амплитуд пространственных гармоник.

Современный летательный аппарат представляет собой сложную техническую систему, которая трудна в управлении. Особую сложность представляет взлет, посадка и перемещение по аэропорту.

Посадка самолета зависит от многих внешних факторов, таких как состояние взлетно-посадочной полосы, температура окружающей среды, влажность воздуха, погодные условия, а также состояние шин шасси на момент посадки.

Во время посадки летательного аппарата возникает сильная нагрузка на колеса шасси в момент касания взлетно-посадочной полосы, что приводит к стиранию шин, поломке шасси и, соответственно, раннему ремонту всей системы.

Решить эту проблему можно при помощи раскручивания колес путем установки электродвигателя в конструкцию шасси, что позволит не только уменьшить износ покрышек, но и снизить удар при касании и уменьшить длину тормозного пути летательного средства.

Использование мотор-колеса в шасси самолета позволит более эффективно и безопасно передвигаться на территории аэродрома, так как двигатели будут выключены и не будут создаваться опасные условия для людей за двигателями самолета.

В качестве прототипа для предлагаемой модели использовано мотор-колесо, которое было описано в [2]. Данное мотор-колесо имеет низкие энергетические показатели в связи с наличием четных пространственных гармоник магнитодвижущей силы в рабочем зазоре и не имеет функции механического торможения.

Цель данной работы заключается в повышении энергетических характеристик и

получении функции механического торможения при посадке самолета, а также в использовании его кинетической энергии для подзарядки аккумулятора.

Мотор-колесо содержит шину, обод и диски колеса, полую ось, запрессованную в стойку шасси, электродвигатель, состоящий из закрепленного на полой оси статора с катушками обмотки, размещенных с фиксированным угловым расстоянием, ротор, соединенный с ободом колеса и подвижно закрепленный на подшипниках на полой оси, и датчик положения ротора, чередующиеся диски ротора и статора, состоящие из ферромагнитных и немагнитных элементов в виде секторов, магнитопроводы выполнены в виде двух колец из ленты электротехнической стали путем навивки, расположенных по торцам мотор-колеса.

Накладные зубцы с коронками и с катушками установлены на торцевых поверхностях магнитопроводов, на торцевых поверхностях коронок имеются клиновидные выступы, которые совместно с ферромагнитными элементами дисков статора, а также ферромагнитные элементы дисков ротора имеют свои одинаковые угловые размеры и положения, причем количества ферромагнитных элементов на диске статора z_c и на диске ротора z_p связаны равенством $z_c = z_p \pm 2p$, где p – число пар полюсов статора, ротор-индуктор в виде диска с 2p постоянными магнитами в виде секторов, намагниченными аксиально с чередующейся полярностью, установлен с подшипником на полой оси посередине между магнитопроводами, причем толщина магнита $h_м = 2m\delta$, где δ – зазор между дисками, *m* – число дисков ротора.

Для возможности торможения введены две пневматические емкости и два диска тормоза, наборы упругих колец статора и ротора, причем кольца магнитопроводов, диски статора и ротора установлены подвижными в осевом направлении, а их немагнитные сектора выполнены из карбона и имеют толщину, превышающую толщину ферромагнитных элементов, количество зубцов на кольце магнитопровода $z=6p$, а катушки намотаны вокруг двух зубцов, катушки, смещенные на угол π/2 эл.рад, соединены последовательно и согласно, а катушки, смещенные на угол π эл.рад, соединены последовательно встречно и образуют три фазы обмотки статора.

Сущность технического решения поясняется на рис. 1 – 7.

На рис. 1 представлено продольное сечение мотор-колеса, где 1 – стойка шасси; 2 – полая ось; 3, 4 – опоры; 5, 6 – подшипники колеса; 7, 8 – диски колеса; 9 – обод колеса; 10 – шина; 11, 12 – магнитопроводы; 13 – 16 – кольца магнитопроводов; 17, 18 – зубцы; 19, 20 – катушки; 21, 22 – диски статора; 23, 24 – диски ротора; 25, 26 – упругие кольца статора; 27, 28 – упругие кольца ротора; 29 – постоянный магнит; 30 – подшипник; 31, 32 – кольца статора; 33 – 35 – кольца ротора; 36 – трубопровод; 37 – жгут; 38, 39 – пневматические емкости; 40, 41 – диски тормоза; 42 – ферромагнитный элемент датчика положения ротора.

Представленная конструкция собрана следующим образом. В стойку шасси 1 запрессована полая ось 2. На ней установлены опоры 3, 4, на которые установлены подшипники 5, 6 колеса. На них опираются диски 7, 8 колеса, жестко связанные с ободом 9, на котором установлена шина 10.

На опоры 3, 4 установлены подвижно кольца 11, 12, магнитопровода, ограниченные кольцами 13 – 16. На кольце 11 установлено двенадцать зубцов 17 с коронками и с катушками 19. На кольце 12 установлено двенадцать зубцов 18 с коронками и с катушками 20. На полой оси 2 установлены подвижно в осевом направлении (кроме внутренних) диски 21, 22 статора и подшипник 30, на который опирается ротор-индуктор с четырьмя постоянными магнитами 29. Также установлены подвижно в осевом направлении упругие кольца 25, 26 статора и кольца 31, 32 статора.

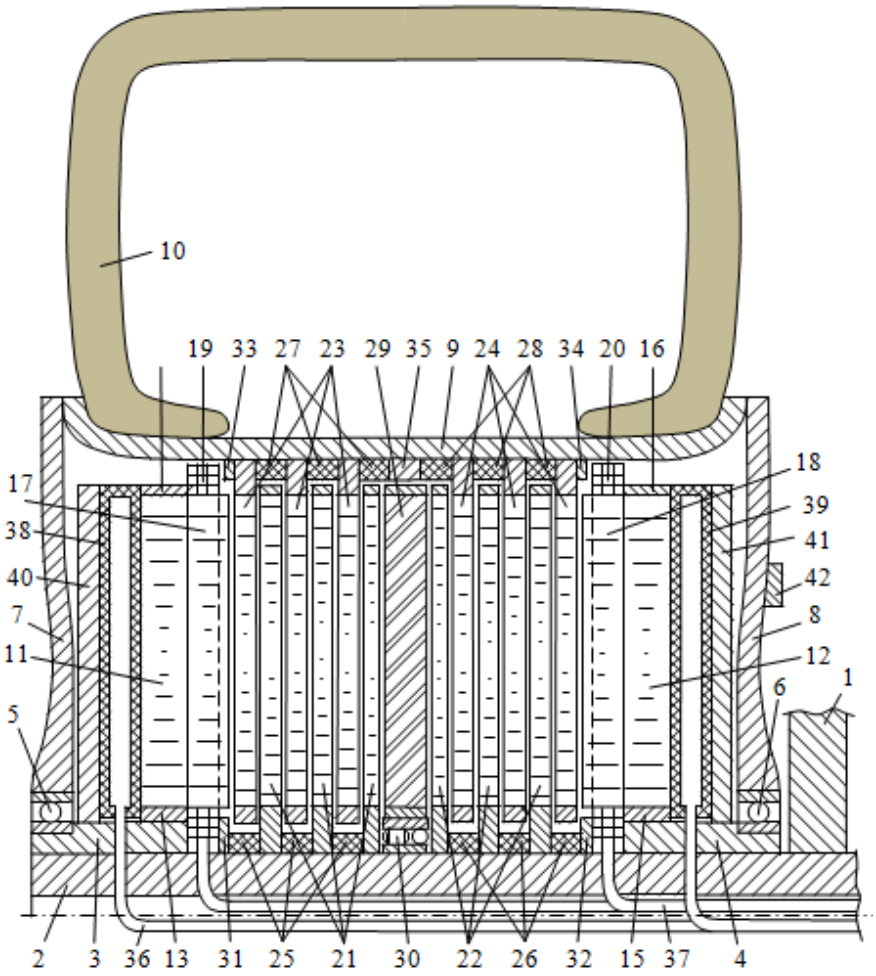


Рис. 1. Продольное сечение мотор-колеса

На ободе 9 колеса установлены подвижно в осевом направлении диски 23, 24 ротора, упругие кольца 27, 28 ротора и неподвижно кольца 33 – 35 ротора. Диски 21, 22 статора и диски 23, 24 ротора чередуются в пространстве. Ротор-индуктор размещен симметрично относительно колец 11, 12.

На опоры 3, 4 установлены диски 40, 41 тормоза. Между ними и кольцами 11, 12 установлены пневматические емкости 38, 39 соответственно. К ним подведен трубопровод 36. К катушкам 19, 20 подведен жгут 37. На диске 8 колеса установлен ферромагнитный элемент датчика положения ротора.

Подшипник 30 имеет большую ширину и является радиально-упорным для обеспечения требуемого положения ротора-индуктора. Ротор-индуктор имеет четыре постоянных магнита 29 из высококоэрцитивного магнитотвердого материала, имеющие вид секторов (на рис. 2 показаны закрашенными), и немагнитные сектора (на рис. 2 не закрашены). Сектора намагничены по оси вращения и образуют на торцевых поверхностях чередующиеся полюса.

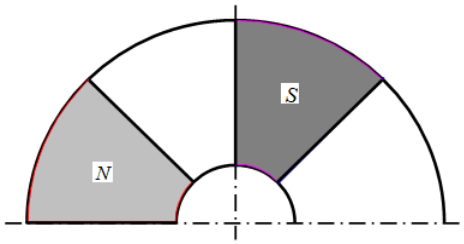


Рис. 2. Ротор-индуктор с постоянными магнитами

Диски 21, 22 статора имеют чередующиеся секторы из магнитомягкого материала (на рис.

3 показаны темными) и немагнитного материала (на рис. 3 светлые). Магнитные элементы выполнены шихтованными из электротехнической стали.

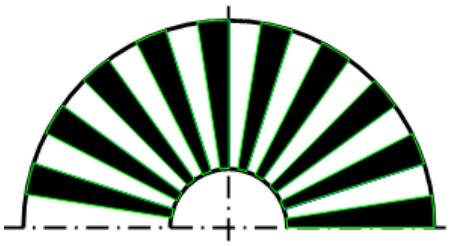


Рис. 3. Диск статора

Диски 23, 24 ротора имеют чередующиеся секторы из магнитомягкого материала (на рис. 4 показаны темными) и немагнитного материала (на рис. 4 светлые).

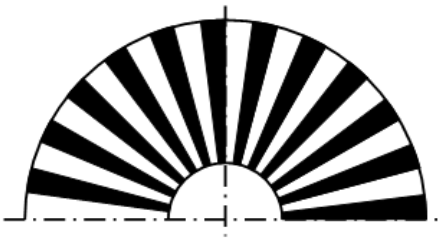


Рис. 4. Диск ротора

Немагнитный материал дисков 21 – 24 – карбон, имеющий хорошие фрикционные свойства. Толщина ферромагнитных секторов на 0,1 мм меньше толщины немагнитных секторов.

Количества ферромагнитных элементов дисков статора z_c и ферромагнитных элементов дисков ротора z_p, приходящихся на одно полюсное деление, отличаются на единицу. На рис. 3, 4 показан случай, когда число пар полюсов $p = 2$, $z_c = 20$, $z_p = 24$. Ферромагнитные элементы дисков статора и ротора выполнены из электротехнической стали шихтованными для уменьшения потерь в стали на вихревые токи, поскольку в процессе работы магнитная индукция в секторах изменяется.

На рис. 5 показаны зубцы с катушками. Зубцы 17, 18 имеют вид секторов. Катушки 19, 20 намотаны вокруг двух зубцов. Катушки *A* и *–A* смещены на угол π/2 и соединены последовательно и согласно. Аналогично размещены и соединены соответственно катушки *B*, *–B* и *C*, *–C*. Катушки, расположенные диаметрально, соединены последовательно встречно и образуют три фазы обмотки статора: *A, B* и *C*. Серым цветом выделены катушки фазы *B*.

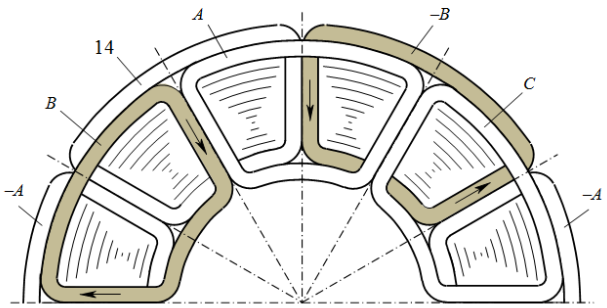


Рис. 5. Зубцы с коронками и катушками

Магнитопроводы 11, 12 и зубцы 17, 18 выполнены лентой из электротехнической стали путем навивки. На торцевых поверхностях коронок зубцов 17, 18 имеются клиновидные выступы. Их угловое положение и количество соответствуют ферромагнитным элементам

дисков 21, 22 статора. Промежутки между выступами заполнены карбоном.

Мотор-колесо работает следующим образом. При отсутствии избыточного давления в пневматических емкостях 38, 39 упругие кольца 25 – 28 раздвигают диски статора и ротора, обеспечивая между ними зазоры в 0,1 – 0,2 мм. По сигналам датчика положения ротора бортовой преобразователь частоты вырабатывает трехфазную систему напряжений.

При подаче на катушки 19, 20 обмотки статора по жгуту 37 трехфазной системы напряжений возникает вращающееся магнитное поле с четырьмя полюсами. Оно увлекает за собой ротор-индуктор. Вместе с ним вращаются области большой магнитной индукции в дисках статора и ротора. В результате ротор поворачивается так, что места совпадения положений ферромагнитных элементов дисков статора и соответствующих ферромагнитных элементов дисков ротора находятся в зонах максимума модуля магнитной индукции.

За половину периода напряжения питания $T/2 = \pi/\omega$ ротор-индуктор повернется на угол $\pi/2$, а места максимума модуля магнитной индукции повторятся. При этом ротор должен повернуться на один сектор, т.е. на угол $2\pi/z_р$. Следовательно, магнитный редуктор имеет передаточное отношение $z_р/4$. Поэтому скорость вращения ротора будет $\omega_м = 2\omega/z_р$. Здесь ω – угловая частота напряжения питания. Момент на валу ротора $M_м = z_р M_б/2$.

Наличие нескольких дисков статора и ротора вызывает многократную деформацию магнитного поля в зоне дисков, что увеличивает развиваемый момент и позволяет улучшить массогабаритные показатели.

Мотор-колесо может использоваться на этапе рулежки самолета по аэродрому, а также для раскрутки колеса перед приземлением для предотвращения износа или разрушения колеса во время касания взлетно-посадочной полосы.

При подаче сжатого воздуха по трубопроводу 36 в пневматические емкости 38, 39 на магнитопроводы 11, 12 действуют силы, перемещающие их к середине на 1 – 2 мм. При этом зубцы 17, 18 и диски 21 – 24 входят в соприкосновение, и происходит механическое торможение.

Одновременно электродвигатель переводится в режим генератора, преобразующего кинетическую энергию движущегося самолета в электрическую энергию. Трехфазная система напряжений генератора выпрямляется и обеспечивает подзарядку бортового аккумулятора.

Передача момента от ротора-индуктора к ротору является упругой – через магнитное поле. При увеличении момента нагрузки на валу ротора он отстает на некоторый угол от положения, соответствующего холостому ходу.

Электродвигатель не имеет механических контактов между подвижными активными частями, бесшумен в работе, имеет большой срок службы, определяемый подшипниками, допускает ударные нагрузки, так как связь между ротором-индуктором и ротором осуществляется через магнитное поле.

Удельная энергия магнитного поля определяется выражением

$$w = \frac{BH}{2}.$$

При линейной кривой размагничивания максимальная энергия постоянного магнита достигается при условии равенства магнитных сопротивлений постоянного магнита и нагрузки, которой являются зазоры между дисками статора и ротора. Это равенство обеспечивает высокие энергетические показатели и выполняется, если толщина магнита равна сумме длин зазоров между дисками, т.е. при выполнении равенства

$$h_м = 2m\delta,$$

где δ – зазор между дисками, m – число дисков ротора.

Установка подшипника 30 ротора-индуктора на полую ось 2 упрощает конструкцию. Ротор-индуктор усиливает поле, созданное обмоткой двигателя. Благодаря его размещению посередине и размещению зубцов с катушками на обоих кольцах получается симметричная магнитная система и полностью снимается осевое усилие, действующее на вал. Подшипники

5, 6 нагружены лишь радиальными усилиями, что снижает напряжение трогания электродвигателя и повышает его надежность.

Центральное размещение ротора-индуктора с постоянными магнитами снижает магнитный поток рассеяния в магнитном редукторе приблизительно в четыре раза по сравнению с несимметричным размещением. Это увеличивает полезный магнитный поток, проходящий через диски статора и ротора, что увеличивает максимальный вращающий момент электродвигателя.

На рис. 6 показано распределение магнитодвижущей силы (МДС) $F(x)$ прототипа в момент времени, когда ток в фазе A максимален. Показаны первая $F_1(x)$ и вторая $F_2(x)$ гармоники. МДС одной катушки при максимальном значении тока принята равной 20 А.

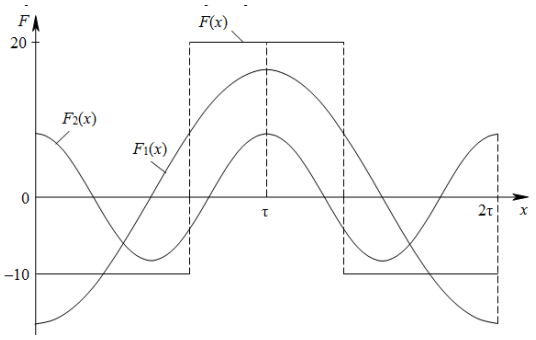


Рис. 6. Закон распределения МДС обмотки прототипа

На рис. 7 показано распределение МДС $F(x)$ в момент времени, когда ток в фазе A максимален. Показаны первая $F_1(x)$ и пятая $F_5(x)$ гармоники. МДС одной катушки при максимальном значении тока принята равной 10 А – в два раза меньше, чем в обмотке прототипа.

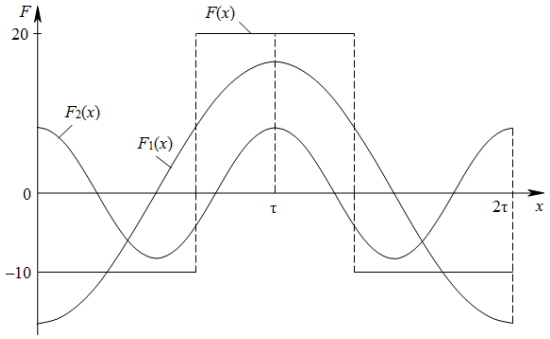


Рис. 7. Закон распределения МДС обмотки предложенного электродвигателя

В таблице приведены амплитуды пространственных гармоник для обмотки прототипа с шестью катушками и предложенной обмотки с двенадцатью катушками.

Таблица 1

Амплитуды пространственных гармоник

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$A_{пk}$	16,54	8,270	0	4,135	3,308	0	2,363	2,068	0	1,654	1,504	0
$A_{прk}$	16,54	0	0	0	3,308	0	2,363	0	0	0	1,504	0

k	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$A_{пk}$	1,272	1,181	0	1,034	0,973	0	0,871	0,827	0	0,752	0,719	0
$A_{прk}$	1,272	0	0	0	0,973	0	0,871	0	0	0	0,719	0

Видно, что пространственные гармоники МДС, кратные трем, отсутствуют в обеих обмотках. В обмотке предложенного мотор-колеса отсутствуют четные гармоники.

Нечетные гармоники, не кратные трем, в обеих обмотках совпадают.

Среднеквадратическое значение высших пространственных гармоник МДС прототипа и обмотки предлагаемого мотор-колеса имеют значения:

$E_{\text{пh}} = 7,951\text{А}$

$E_{\text{прh}} = 3,635\text{А}$.

Видно, что у обмотки предлагаемого мотор-колеса действующее значение высших гармоник МДС меньше на 54,28%. Они создают аналогичные гармоники магнитной индукции и вызывают дополнительные магнитные потери в стали статора и ротора. Поэтому предлагаемая обмотка имеет значительные преимущества по экономичности.

Таким образом, благодаря введению двух пневматических емкостей и двух дисков тормоза, набора упругих колец статора и ротора, и установки колец магнитопровода, дисков статора и ротора с немагнитными секторами из карбона подвижными в осевом направлении, а также выполнению катушек обмотки вокруг двух зубцов расширены функциональные возможности мотор-колеса и повышены его энергетические характеристики. Оно может быть использовано для установки в шасси летательных аппаратов различного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Афанасьев А.Ю., Макаров А.В., Березов Н.А.* Синхронный электродвигатель с магнитной редукцией. Патент РФ № 2604058, МПК H02K 16/02, H02K 19/24, H02K 19/06 опубл. 2016.12.10, Бюл. № 34).

2. *Афанасьев А.Ю. и др.* Мотор-колесо. Заявка № 2017144340, решение о выдаче патента от 18.09.2018.

3. *Афанасьев А.Ю.* Основы автоматизированного электропривода. Казань, Издательство КГТУ им. А.Н. Туполева, 2005. – 122 с.

MOTOR-WHEEL FOR CHASSIS OF THE AIRCRAFT

Karimov A.

artur.karim@yandex.ru

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

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

In this article motor-wheel with a synchronous motor for the chassis of aircraft is proposed. The design of the motor-wheel, braking system and the recovery of electrical energy is presented. The distribution of the magnetomotive force (MMF) of the prototype and the proposed motor-wheel variant with numerical indices of the amplitudes of spatial harmonics is shown.

УДК 621.313

ЭЛЕКТРОМАГНИТЫЙ РЕДУКТОР

Каримов Д.Р.

karimov.dinar99@yandex.ru

Научный руководитель: А.Ю. Афанасьев, д-р техн. наук, профессор

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

В данной работе предложен электромагнитный редуктор с возможностью регулирования выходной скорости вращения при высоких энергетических показателях. Представлена конструкция электромагнитного редуктора, принцип действия и преимущества над известными техническими решениями. Показан график магнитной индукции, созданной дисками ротора и статора и график магнитной индукции с учетом магнитных проводимостей ферромагнитных элементов.

В современных электромеханических системах находят применение магнитные

редукторы с постоянными магнитами, обладающие высокой надежностью и не требующие смазки механической передачи. Часто требуется поддерживать постоянную скорость вращения на выходе редуктора, например, в ветроэнергетике, при изменении скорости входного вала.

Предлагаемое техническое решение касается выполнения электромагнитных механизмов, в частности бесконтактных электромагнитных редукторов, и может быть использовано в качестве передаточного устройства с регулируемым передаточным отношением в механических системах с большим ресурсом работы в условиях отсутствия смазки.

Известен электромагнитный редуктор, имеющий возможность регулирования коэффициента редукции при одновременном упрощении конструкции [1]. Он содержит корпус с установленными в нем статором с многофазной обмоткой, подключенной к источнику напряжения, а также первым и вторым роторами, жестко установленными на входном и выходном валах соответственно, обмотка статора подключена к источнику напряжения через регулируемый преобразователь частоты и размещена в пазах внутренней поверхности статора с образованием полюсов, при этом первый ротор расположен коаксиально со статором, жестко связан с концом входного вала и выполнен в виде беличьей клетки, стержни которой вставлены в кольца из немагнитного материала, имеют призматическую форму и образуют зубцы первого ротора, а второй ротор расположен внутри первого, выполнен в виде зубчатого магнитопровода с числом зубцов z_2, равным $z_2 = (z_1 – p_1)$, где z_1 – число зубцов первого ротора; p_1 – число пар полюсов обмотки статора; при этом статор, зубцы первого ротора и второй ротор выполнены шихтованными из тонколистовой стали.

Недостатком этого электромагнитного редуктора является статор, представляющий собой тихоходную электрическую машину с большим моментом, близким к моменту первого ротора, что вызывает большие электрические потери в обмотке и низкие энергетические показатели.

Также известен магнитный редуктор [2]. Он может быть использован в качестве передаточного устройства в механических системах с большим ресурсом работы при ударных нагрузках. Технический результат заключается в улучшении технологичности конструкции и энергетических показателей. Магнитный редуктор содержит корпус и два подшипниковых щита, на которых установлены два магнитопровода. На валу быстрого вращения установлена немагнитная втулка ротора быстрого вращения с постоянными магнитами. На статоре установлены диски статора. На валу медленного вращения установлена немагнитная втулка ротора медленного вращения с дисками. Диски статора и диски ротора медленного вращения чередуются. Диски статора имеют чередующиеся ферромагнитные и немагнитные элементы в виде секторов. Диски ротора медленного вращения выполнены из магнитотвердого материала с аксиально намагниченными секторами чередующейся полярности, равномерно расположенными по окружности. Диски ротора медленного вращения имеют свое магнитное поле, взаимодействующее с полем постоянных магнитов и создающее активный электромагнитный момент.

Недостатком этого магнитного редуктора является отсутствие возможности изменения передаточного отношения редуктора или коррекции частоты вращения выходного вала.

Наиболее близким по элементам конструкции и принципу действия является синхронный электродвигатель с магнитной редукцией [3]. Он может быть использован в качестве компактного агрегата "двигатель-редуктор" в механических системах с большим ресурсом работы при ударных нагрузках, например, в качестве мотор-колеса экологически чистых автомобилей. Он имеет технологичную конструкцию и улучшенные энергетические показатели. Синхронный электродвигатель с магнитной редукцией содержит корпус и два подшипниковых щита. На них установлены два кольца пакета статора. На первом кольце имеются шесть зубцов с коронками и с катушками, а на втором кольце имеются клиновидные выступы. Четыре постоянных

магнита установлены на втулке ротора быстрого вращения. Диски статора закреплены на втулке статора. Диски ротора медленного вращения установлены на втулке. Валы быстрого вращения и медленного вращения опираются на подшипники, установленные в подшипниковых щитах и во втулке подшипников.

Недостатком данного синхронного электродвигателя является отсутствие возможности изменения передаточного отношения редуктора или коррекции частоты вращения выходного вала.

Технический результат, на который направлено предлагаемое техническое решение, заключается в получении электромагнитного редуктора с возможностью регулирования выходной скорости вращения при высоких энергетических показателях.

Указанный результат достигается тем, что в электромагнитном редукторе, имеющем корпус, два подшипниковых щита, четыре подшипника, два магнитопровода, выполненные из ферромагнитной ленты путем навивки, первый магнитопровод установлен на первом щите и имеет клиновидные выступы, второй магнитопровод имеет зубцы с коронками и многофазную обмотку, тихоходный и быстроходный валы, на корпусе установлена втулка, на которой установлены диски статора, имеющие ферромагнитные секторы, разделенные немагнитными секторами, тихоходный вал опирается на подшипники, установленные на первом щите и на диске статора, быстроходный вал опирается на подшипник, установленный на втором щите, на тихоходном валу установлена втулка, на которой установлены диски ротора, выполненные из магнитотвердого материала и имеющие намагниченные сектора чередующейся полярности, диски статора и ротора чередуются в пространстве, число z_c ферромагнитных элементов диска статора и число z_p однополярных секторов диска ротора связаны равенством $z_c = z_p \pm p$, где p – число пар полюсов обмотки, введены корпус токоподвода с тремя комплектами щеток со щеткодержателями, пружинами и проводами, изоляционная втулка, установленная на быстроходном валу и имеющая три контактных кольца, соединенных с помощью жгута с обмоткой, щетки прижаты к контактным кольцам, четвертый подшипник опирается на корпус токоподвода, второй магнитопровод установлен на быстроходном валу, который опирается на подшипник, установленный на корпусе токоподвода.

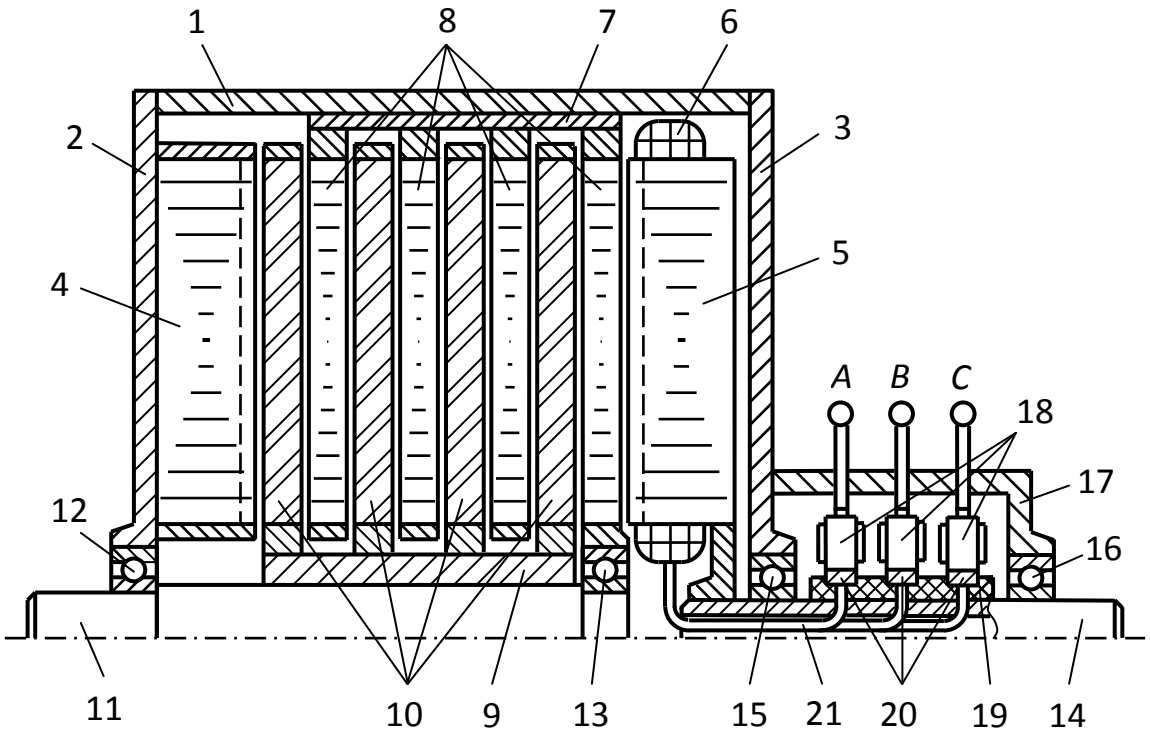


Рис. 1. Продольное сечение электромагнитного редуктора

Устройство электромагнитного редуктора объясняется с помощью рис.1 – 5, где

рис. 1 – продольное сечение электромагнитного редуктора;
рис. 2 – второй магнитопровод с зубцами и катушками;
рис. 3 – диск статора;
рис. 4 – диск ротора;
рис. 5 – зависимость магнитной индукции, созданной дисками ротора и статора.

Подшипниковые щиты 2, 3 установлены на корпусе 1 и имеют подшипники 12, 15. На подшипниковом щите 2 установлен кольцевой магнитопровод 4, выполненный из ферромагнитной ленты путем навивки и имеющий клиновидные выступы. На корпусе установлена втулка 7 статора, на которой закреплены диски 8 статора, имеющие клиновидные ферромагнитные элементы, выполненные шихтованными и разделенные немагнитными элементами. Крайний диск 8 статора имеет подшипник 13. Тихоходный вал 11 опирается на подшипники 12, 13 и имеет втулку 9, на которой установлены диски 10 ротора, выполненные из магнитотвердого материала и имеющие сектора с чередующейся полярностью. Диски 8 статора и 10 ротора чередуются в пространстве.

Корпус токоподвода 17 установлен на подшипниковом щите 3 и имеет подшипник 16. Быстроходный вал 14 опирается на подшипники 15, 16 и имеет изоляционную втулку 19 с тремя контактными кольцами 20. Кольцевой магнитопровод 5, выполненный из ферромагнитной ленты путем навивки, установлен на быстроходном валу 14 и имеет зубцы с коронками и трехфазную обмотку 6. На корпусе токоподвода 17 установлены три комплекта щеток 18 со щеткодержателями, пружинами и проводами. Контактные кольца 20 соединены жгутом 21 с обмоткой 6. Ферромагнитные элементы дисков 8 статора и клиновидные выступы на магнитопроводе 4, а также намагниченные сектора дисков 10 ротора имеют одинаковые угловые положения.

Магнитопровод 5 показан на рис. 2. Он имеет шесть зубцов и шесть катушек. Число пар полюсов $p = 2$.

Диск 8 статора показан на рис. 3. Он имеет 24 ферромагнитных элемента, выполненных шихтованными для уменьшения магнитных потерь.

Диск 10 ротора показан на рис. 4. Он выполнен из магнитотвердого материала, имеет на одной торцевой поверхности 22 северных полюса и 22 южных полюса.

Здесь $z_c = z_p + p$; $z_c = 24$; $z_p = 22$; $p = 2$.

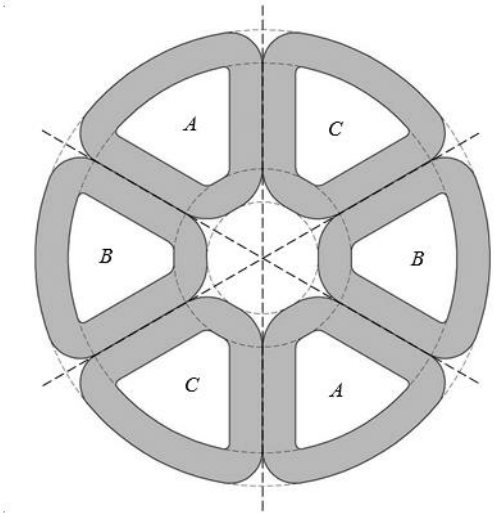


Рис. 2. Второй магнитопровод с зубцами и катушками

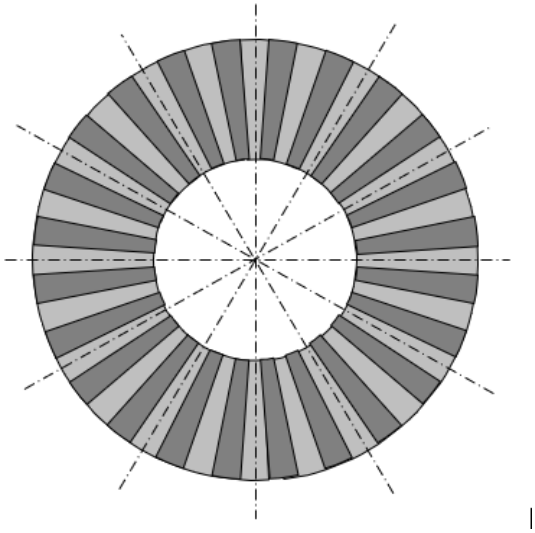


Рис. 3. Диск статора

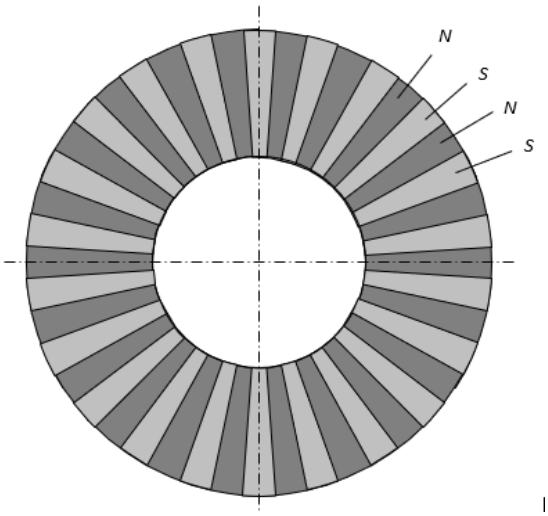


Рис. 4. Диск ротора

На рис. 5 показан график магнитной индукции, созданной дисками 10 ротора и дисками 8 статора. На рис. 5, а показан график магнитной индукции при постоянном зазоре для диска ротора. Дана развертка цилиндрического сечения диска статора. Темным цветом показаны ферромагнитные элементы. На рис. 5, б показан график магнитной индукции с учетом магнитных проводимостей ферромагнитных элементов. Показана первая пространственная гармоника $B_1(\alpha)$.

Электромагнитный редуктор работает следующим образом. Тихоходный вал 11 приводится во вращение со скоростью ω_1, например, ветродвигателем или гидротурбиной. При этом первая пространственная гармоника магнитной индукции вращается с угловой скоростью $\omega_2 = \omega_1 \cdot z_p/p = 11\omega_1$. На зажимы *A, B, C* токоподвода подводится трехфазная система напряжений с угловой частотой ω_3, которая создает магнитное поле, вращающееся относительно магнитопровода 5 с угловой частотой $\omega_3/p = \omega_3/2$. Это поле неподвижно относительно первой пространственной гармоники магнитной индукции, созданной дисками статора и ротора. В результате магнитопровод 5 с быстроходным валом 14 вращаются с угловой частотой $\omega_4 = \omega_1 \cdot z_p/p \pm \omega_3/p$. Знак "+" или "–" определяется порядком чередования фаз системы напряжений.

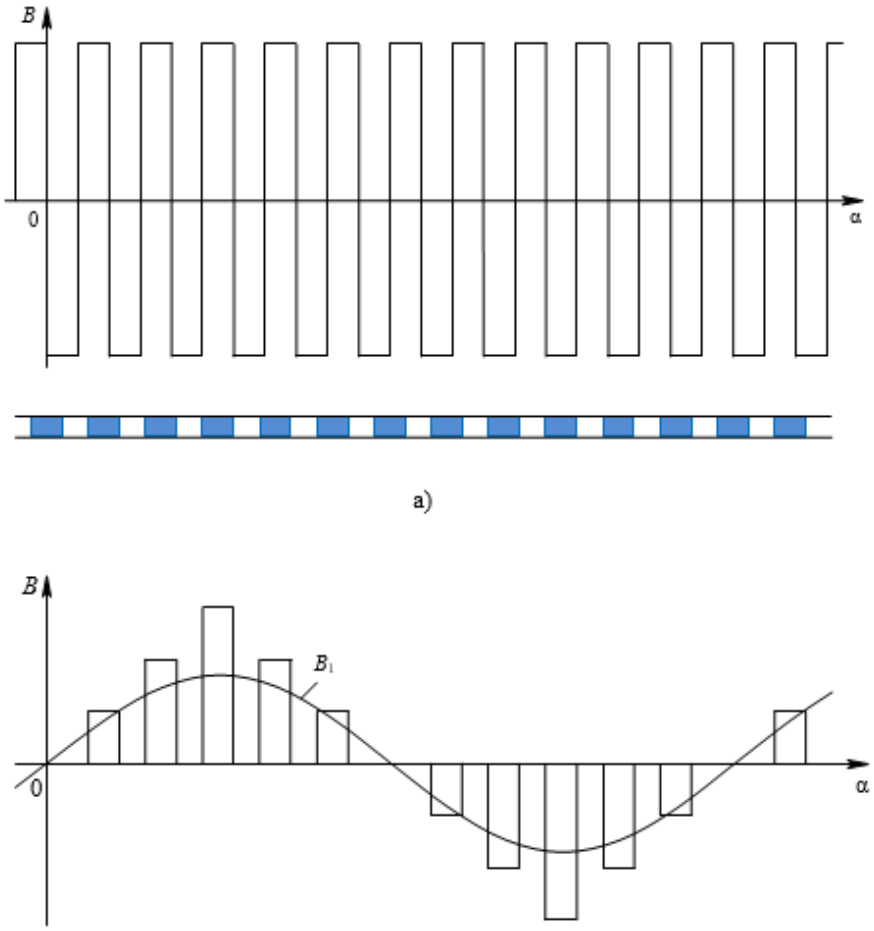


Рис. 5. Зависимость магнитной индукции, созданной дисками ротора и статора

Момент быстроходного вала 14 меньше входного момента, приложенного к валу 11, в $z_р/p$ = 11 раз. Соответственно масса меди обмотки и мощность потерь, выделяемая в ней, значительно меньше, чем в случае электромагнитного редуктора по патенту [1], где дополнительная скорость и мощность добавляются на стороне тихоходного вала и большого момента.

Таким образом, благодаря введению корпуса токоподвода с тремя комплектами щеток со щеткодержателями, пружинами и проводами, изоляционной втулки, установленной на быстроходном валу и имеющей три контактных кольца, соединенных с помощью жгута с обмоткой, и установке второго магнитопровода на быстроходном валу, который опирается на подшипник, установленный на корпусе токоподвода, получен электромагнитный редуктор с возможностью регулирования выходной скорости вращения при высоких энергетических показателях.

Данный электромагнитный редуктор может быть использован в ветроэнергетике для стабилизации скорости вращения ротора электрического генератора при изменении скорости ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Афанасьев А.А., Чихняев В.А.* Электромагнитный редуктор. Патент РФ 2529422, МПК H02K 16/02, H02K 51/00. Опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27.

2. *Афанасьев А. Ю., Макаров А.В., Берёзов Н.А.* Магнитный редуктор. Патент РФ 2594018, МПК H02K 51/00, F16D 27/01. Опубл. 10.08.2016, Бюл. № 22.

3. *Афанасьев А.Ю., Берёзов Н.А., Макаров А.В., Сиразетдинов Р.Т., Деваев В.М.* Синхронный электродвигатель с магнитной редукцией. Патент РФ 2588599. МПК H02K 19/06, H02K 49/06. Опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19.

ELECTROMAGNETIC SPEED REDUCER

Karimov D.
karimov.dinar99@yandex.ru
Supervisor: A. Afanasiev, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

This paper proposes an electromagnetic speed reducer with the ability to control the output speed of rotation with high energy performance. The design of the electromagnetic gearbox, the principle of operation and advantages over the known technical solutions are presented. It shows a graph of magnetic induction created by the rotor and stator discs and a graph of magnetic induction, taking into account the magnetic conductivities of ferromagnetic elements.

УДК 621.315

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ И СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ В ИЗОЛЯТОРАХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Катков В. И.
vlakotkov@mail.ru
Научный руководитель: Ю.К. Евдокимов, д-р техн наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В работе проведен краткий аналитический обзор методов и систем контроля электрических разрядов в изоляторах линий электропередач. Основное внимание уделяется методам дистанционного контроля по радиоволновому спектру.

Электрические разряды встречаются во многих технологических и производственных процессах, в большинстве случаев они носят нежелательный характер и могут свидетельствовать о наличии дефекта или аварийной ситуации. Основным видом электрического разряда, приводящему к износу и старению изоляционных элементов, но не приводящему к пробою изоляционного промежутка на линиях электропередач является частичный разряд.

Физически частичный разряд представляет собой искровой разряд, образующийся внутри высоковольтной изоляции или на ее поверхности. Частичным он называется потому, что «перекрывает» только часть общего изоляционного промежутка, не приводя к короткому замыканию [1].

На поверхности твердотельных изоляторов (стекло, фарфор, полимерные покрытия) частичные разряды возникают по причине увлажнения и запыления поверхности изолятора. Внутренние разряды возникают во внутренних дефектах изоляторов, таких как каверны и полости, которые неизбежно существуют в любом твердотельном изоляторе, еще с момента его технологического производства. С одной стороны поверхностные и внутренние частичные разряды оказывают деструктивное действие на диэлектрические свойства изоляторов, увеличивая объемность дефектов и приводя изолятор со временем к эксплуатационному износу. Пробой изолятора состоит из нескольких этапов: в зоне дефекта возникает частичный разряд, по мере развития он перерастает в искровой, завершающий этап деградации изоляции – возникновение дугового разряда, замыкающего электродный промежуток.

С другой стороны наличие частичных разрядов в изоляторах высоковольтных линий электропередач позволяет осуществлять контроль состояния самой изоляции под напряжением, что дает качественную оценку ее технического состояния. Контроль состояния изоляторов ЛЭП осуществляется в основном дистанционными методами, основанными на приеме радиоволнового, инфракрасного, ультрафиолетового и акустического излучений, создаваемых частичными разрядами.

В настоящей работе приводится обзор методов и систем контроля электрических разрядов в приложении к изоляторам высоковольтных линий электропередач. Основное внимание уделяется дистанционному контролю частичных разрядов по радиоволновому спектру.

Основные задачи контроля

Важнейшей задачей контроля состояния изоляции по параметрам частичных разрядов является проведение качественной и количественной оценки интенсивности частичных разрядов. Она имеет своей целью дифференцировать возможный тип дефекта, возникшего в изоляции, определить степень его развития и в идеале локализовать место его возникновения [1].

Большинство современных методов дистанционного контроля подразумевают пассивный прием излучения от частичных разрядов, последующую обработку спектра излучения и применение диагностических критериев для выделения дефектов. Диагностические критерии для определения дефектных изоляторов вырабатываются сопоставлением с характеристиками излучения частичных разрядов от эталонных, исправных изоляторов. Локализация места возникновения разряда проводится на этапе приема излучения, использованием направленных антенн, сопоставлением времени регистрации излучения с периодами фазы напряжения, на которых возникает пробой.

Таким образом, для создания или улучшения системы контроля состояния изоляторов ЛЭП требуется выбрать два ключевых момента. Первый – выбор диапазона регистрируемого излучения. Второй – выбор диагностических признаков для проведения анализа принятого излучения и принятия решения о состоянии изолятора.

Способы контроля

Простой подсчет показывает, что при напряжении межэлектродного промежутка 110 кВ (линия высокого класса напряжений) и токе 100 мА (характерного при искровом разряде), выделяемая мощность, составляет порядка 11 кВт, большая часть которой выделяется в виде широкополосного излучения в различных областях спектра. Например, электромагнитный спектр излучения искрового разряда, изученный в работе [2], содержал непрерывный диапазон частот вплоть до 1 ГГц. Причем мощность излучения до 250 МГц была практически одинаковой. Подобный характер излучения искровых (частичных) разрядов представляет широкие возможности для регистрации данных процессов.

Выбор диапазона регистрации излучения частичных разрядов обуславливается следующими факторами: помехозащищенность и дальность детектирования.

Акустический диапазон регистрации частичных разрядов ограничен расстоянием 10–15 метров, обладает низкой разрешающей способностью и низкой помехозащищенностью. Максимум интенсивности акустического излучения частичных разрядов лежит в ультразвуковой области. Главное достоинство акустического диапазона его простота и дешевизна [3].

Регистрация частичных разрядов в оптическом диапазоне проводится в дальней ультрафиолетовой области спектра, т.к. в этом диапазоне достигается наибольшая помехозащищенность. Расстояние, с которого возможно проводить измерения, ограничено 20-30 метрами. Существенной проблемой оптического диапазона является возможность проведения измерений исключительно в темное время суток [3].

Для оценки состояния изоляторов ВЛЭП так же применяется тепловизионный метод, при котором регистрируется температура поверхности изоляторов. Непосредственно излучение частичного разряда в ИК-диапазоне не регистрируется.

Регистрация частичных разрядов в радиоволновом диапазоне является наиболее распространенным методом контроля. Однако существует проблема выбора частотного диапазона для регистрации частичных разрядов, для наилучшего отношения сигнал-шум. Большинство авторов [4], [5], [6], [7] предлагают проводить пассивный прием электромагнитного излучения от частичных разрядов с помощью пассивной антенны в диапазоне частот 30—500 МГц. В методах [4], [5], [6], [7] локализация источника излучения

(изолятора, на котором возникают ЧР) проводится с помощью привязки сигнала ЧР к фазе напряжения на изоляторе. Помимо чисто радиоволновых методов так же предлагаются комбинированные методы, а именно: ИК-радиоволновый метод [8] и акусто-радиоволновый метод [9]. В указанных методах комбинированием принимаемых излучений достигается улучшенная способность к локализации дефектов. Для выделения полезного сигнала частичных разрядов в каждом методе предусмотрено использование метода накопления, селективного приема излучения, характерной частоты следования импульсов от частичных разрядов.

Основными диагностическими признаками для определения состояния изоляторов являются амплитуда и частота сигналов от частичных разрядов. Например, в методах [4], [5], [6] предлагается критерий исправного изолятора: частота частичных разрядов - не более 82 - 100 импульсов за секунду.

В методе [7] неисправным изолятор считается, если происходит значительное уширение фазовых интервалов излучения частичных разрядов, резкое увеличение количества частичных разрядов в отрицательных полупериодах высокого напряжения по сравнению с положительными полупериодами, появляется отличие формы одиночных импульсов частичных разрядов для положительных и отрицательных сигналов. В методе [8] неисправным изолятор считается, если сигналы ЧР в дефектном полимерном изоляторе более чем в 5 раз превышают сигналы в исправном изоляторе, при одинаковой величине прикладываемого напряжения.

Существенным недостатком приведенных методов является расстояние, с которого предлагается проводить контроль частичных разрядов. Например, высота конструкции угловых опор ЛЭП 110 кВ составляет 34,7 метра, а расстояние от нижней точки опоры до низкого фазового провода 24,5 метра, для опор ЛЭП, рассчитанных на 35 кВ минимальная высота конструкции составляет 19 метров, а расстояние от низкого фазового провода до нижней точки опоры 14 метров. Согласно предложенным методам контроля [4], [5], [6], [7] расстояние от принимающей антенны до источника излучения составляет не более 10 метров.

Выводы

Рассмотренные методы контроля частичных разрядов по радиоволновому спектру сосредоточены в диапазоне частот 30—500 МГц. В рассмотренных методах рабочее расстояние для осуществления дистанционного контроля состояния изоляторов ВЛЭП составляет не более 10 метров, что является недостаточным для проведения безопасного дистанционного контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Русов В. А.* Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования. – 2011.

2. *Темников А. Г. и др.* Исследование характеристик искрового разряда между искусственным облаком заряженного водного аэрозоля и землей //Журнал технической физики. – 2005. – Т. 75. – №. 7. – С. 52-59.

3 *Балобанов Р.Н.,* Бесконтактный метод и устройство контроля состояния высоковольтных изоляторов со светодиодной индикацией, КГЭУ, Казань, 2018

4. Способ бесконтактного и дистанционного контроля электропрочности гирлянд изоляторов воздушных высоковольтных линий электропередачи // ПАТЕНТ РФ № 2058559, кл. G01R 31/12, 20.04.1996

5. Способ бесконтактного и дистанционного контроля состояния гирлянд изоляторов воздушных высоковольтных линий электропередачи // ПАТЕНТ РФ № 2359280C2, кл. G01R 31/12, 2009.06.20

6. Устройство для контроля состояния гирлянд изоляторов воздушных линий электропередачи // ПАТЕНТ РФ № 140278U1, кл. G01R 31/12, 2014.05.10

7. Способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных

изоляторов // ПАТЕНТ РФ № 2679759C, кл. G01R 31/12, 2019.02.12

8. Способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных полимерных изоляторов // ПАТЕНТ РФ № 2566391C, кл. G01R 31/12, 2015.10.27

9. Способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных полимерных изоляторов // ПАТЕНТ РФ № 2483315C, кл. G01R 31/12, 2013.05.27

ANALYTICAL REVIEW OF METHODS AND SYSTEMS OF CONTROL OF ELECTRIC DISCHARGES IN HIGH-VOLTAGE ELECTRIC TRANSMISSION INSULATORS

Katkov V.

vlakotkov@mail.ru

Supervisor: Y. Evdokimov, Doctor of Technical Sciences, Professor

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

A brief analytical review of methods and systems for monitoring electrical discharges in power line insulators has been conducted. The focus is on remote monitoring methods based on the radio wave spectrum.

УДК 621.316.11

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ К СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Матхаликов А.Р.

al_aza47@mail.ru

Научный руководитель: Р.Г. Исаков, канд. техн. наук, доцент

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

В настоящее время распределенная генерация является одним из наиболее приоритетных и быстроразвивающихся направлений энергетического комплекса, как в России, так и за рубежом. И это неудивительно, поскольку подключения распределенной генерации позволяет покрывать потребность электроэнергии за счет собственных возможностей изолированно от сети. А если электрическая сеть имеет сложную многоуровневую структуру, то возникает вопрос выбора места подключения источника распределенной генерации. В данной работе будет проведен обзор нескольких вариантов подключения источников распределенной генерации, а также на основе расчетных данных будет выбран оптимальный вариант подключения к сети.

Предположим, что у администрации района (пусть район имеет трехуровневую структуру) есть возможность установить источники распределенной генерации, позволяющие сэкономить денежные средства. Данные источники малой генерации должны полностью обеспечивать электроэнергией весь район в изолированном режиме, а также должна быть предусмотрена возможность питания от централизованной сети электроснабжения в случае возникновения аварий в электрической сети.

Ниже будут представлены три варианта подключения источников распределенной генерации (рисунок 1). Главный критерий выбора схем – полное покрытие энергопотребления района суммарной мощностью объектов распределенной генерации. В качестве источника малой генерации были выбраны одинаковые для всех вариантов схем синхронные турбогенераторы, подключаемые к шинам 10 кВ. В ходе данных расчетов будет выбран оптимальный вариант подключения источников распределенной генерации.

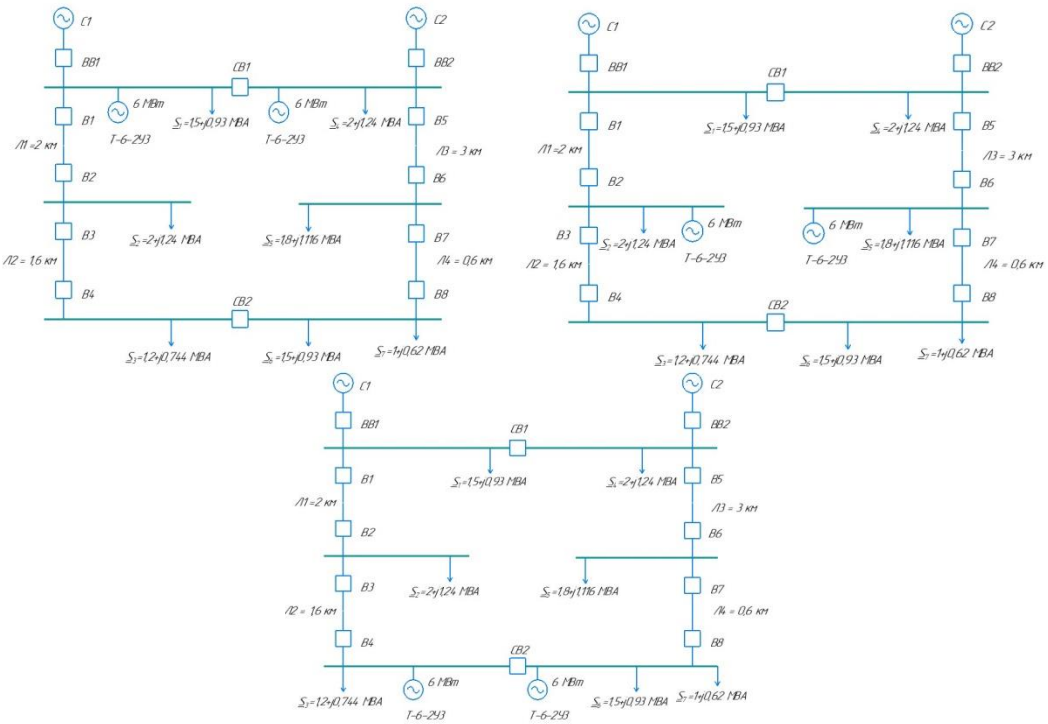


Рис. 1. Вариант 1 (верхний левый), вариант 2 (верхний правый), вариант 3 (нижний)

Параметры генераторов, взятые из справочной литературы, приведены ниже в таблице 1. Для всех вариантов подключения используются одинаковые турбогенераторы.

Таблица 1

Параметры генератора [1]

Марка турбогенератора	Количество	$P_{ном}$, МВт	$U_{ном}$, кВ	cosφ	x''_d, о.е.
Т-6-2У3	2	6	10.5	0.8	0.118

1. Расчет потоков мощности и рабочих токов

В данном подзаголовке будет представлен расчет лишь одного (вариант 1) из трех предложенных вариантов схем подключения. Расчеты для оставшихся вариантов аналогичны.

Для всех трех вариантов точно также будут рассчитываться 3 режима работы:

- Основной режим (отключен только СВ1);
- Режим аварийный 1 (отключены ВВ2, В5 и В6);
- Режим аварийный 2 (отключены ВВ1, В1 и В2).

Будет рассмотрен расчет лишь основного режима работы, так как методика расчета для аварийных вариантов будет аналогична.

Расчет основного режима работы для варианта 1.

Изначально произвольно выбираются направления потоков мощности. Зададим все в одном направлении от С2 к С1 согласно рисунку 2.

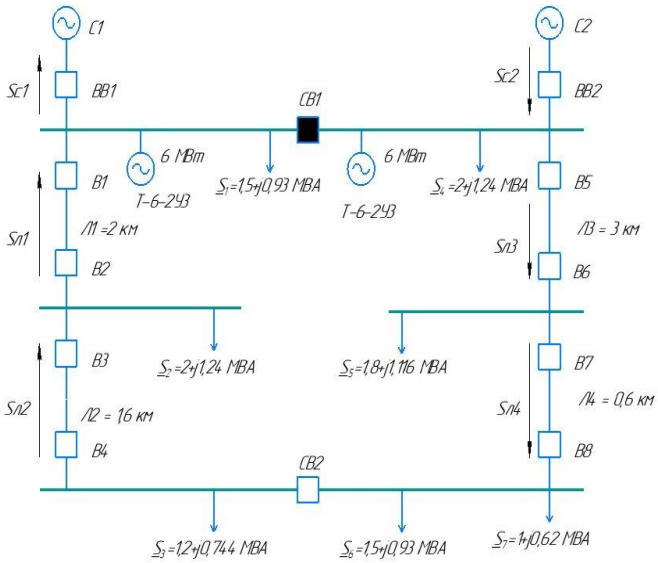


Рис. 2. Потоки мощности в схеме варианта 1

Выразим все потоки через поток $\underline{S}_{л1}$ из уравнений 2го закона Кирхгофа и запишем их в виде системы уравнений [2]:

$$\begin{cases} \underline{S}_{с1} = \underline{S}_{л1} + \underline{S}_{г} - \underline{S}_{1} \\ \underline{S}_{л2} = \underline{S}_{л1} + \underline{S}_{2} \\ \underline{S}_{л4} = \underline{S}_{л2} + \underline{S}_{3} + \underline{S}_{6} + \underline{S}_{7} = \underline{S}_{л1} + \underline{S}_{2} + \underline{S}_{3} + \underline{S}_{6} + \underline{S}_{7} \\ \underline{S}_{л3} = \underline{S}_{л4} + \underline{S}_{5} = \underline{S}_{л1} + \underline{S}_{2} + \underline{S}_{3} + \underline{S}_{6} + \underline{S}_{7} + \underline{S}_{5} \\ \underline{S}_{с2} = \underline{S}_{л3} + \underline{S}_{4} - \underline{S}_{г} = \underline{S}_{л1} + \underline{S}_{2} + \underline{S}_{3} + \underline{S}_{6} + \underline{S}_{7} + \underline{S}_{5} + \underline{S}_{4} - \underline{S}_{г} \end{cases} \quad (1)$$

Для расчета потоков мощности в кольцевых схемах и схемах с двухсторонним питанием в однородной сети используется следующая формула [26]:

$$\frac{\underline{S}_{12} * L_{12}}{U_{ном}} + \frac{\underline{S}_{23} * L_{23}}{U_{ном}} + \cdots + \frac{\underline{S}_{i-1;i} * L_{i-1;i}}{U_{ном}} = \underline{U}_{1} - \underline{U}_{i} \quad (2)$$

Где, $\underline{S}_{12}$ – мощность, протекающая в линии 1-2; L_{12} – длина линии 1-2, $\underline{U}_{1}$ – напряжение на подстанции 1; $\underline{U}_{i}$ – напряжение на i-той подстанции; $U_{ном}$ – номинальное напряжение сети.

Так как напряжение в сети одинаково, то $U_{ном}$ можно принять равным 1, а $\underline{U}_{1} = \underline{U}_{i}$.

Подставляя потоки мощности в линиях в уравнение (2) получим:

$$\underline{S}_{л1} * L_{л1} + \underline{S}_{л2} * L_{л2} + \underline{S}_{л3} * L_{л3} + \underline{S}_{л4} * L_{л4} = 0 \quad (3)$$

Подставив выраженные выше потоки мощности через $\underline{S}_{л1}$ в уравнение (3), получим:

$$\underline{S}_{л1} = -\frac{\underline{S}_{2}(L_2 + L_3 + L_4) + (\underline{S}_{3} + \underline{S}_{6} + \underline{S}_{7})(L_4 + L_3) + \underline{S}_{5} * L_3}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4} \quad (4)$$

Аналогично рассчитываются оставшиеся мощности в линии. По полученным значениям мощности можно рассчитать рабочий ток в каждой линии согласно уравнению (5):

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U}, \quad (5)$$

2. Составление схемы замещения для расчетов токов КЗ, расчет токов КЗ

Аналогично, в этом подзаголовке также будет представлен расчет варианта 1 для основного режима.

Расчет варианта 1 основного режима.

Для начала необходимо определить сопротивления генераторов в именованных единицах. Для этого необходимо воспользоваться формулой [3]:

$$X = \frac{x_d'' * U^2 * cos\varphi}{P} \quad (6)$$

Где, x_d'' - синхронное индуктивное сопротивление генератора по продольной оси; $cos\varphi$ – коэффициент мощности генератора; P – активная мощность вырабатываемая генератором. Получим:

$$X_г = \frac{x_d'' * U^2 * cos\varphi}{P} = \frac{0.118 * 10.5^2 * 0.8}{6000} = 1.76 \text{ Ом},$$

ЭДС генератора в относительных единицах определим по следующей формуле:

$$E_{го.е.} = \sqrt{(1 * 0.118 * 0.8)^2 + (1 + 1 * 0.118 * 0.6)^2} = 1.076 \text{ о.е.},$$

ЭДС генератора в именованных единицах, согласно формуле:

$$E_{Си.е.} = E_{о.е.} * U = 1.076 * 10.5 = 11.3 \text{ кВ},$$

Составим схему замещения для расчета токов КЗ.

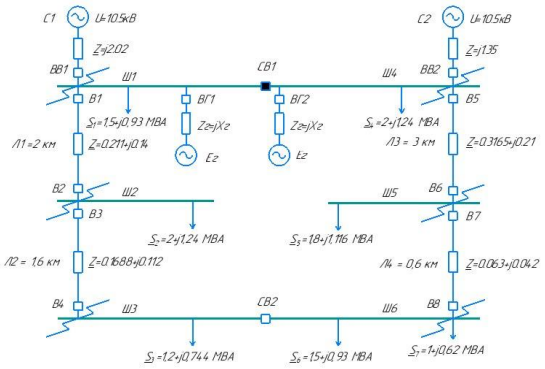


Рис. 3. Схема замещения для расчета варианта 1 в основном режиме работы

Расчет тока КЗ в шине Ш1:

$$X_{с1г1} = \frac{X_{с1} * X_{г1}}{X_{с1} + X_{г1}} = \frac{2.02 * 1.76}{2.02 + 1.76} = 0.94 \text{ Ом},$$

$$E_{с1г1} = X_{с1г1} * \left(\frac{E_{с1}}{X_{с1}} + \frac{E_{г1}}{X_{г1}}\right) = 0.94 * \left(\frac{10.5}{2.02} + \frac{11.3}{1.76}\right) = 10.93 \text{ кВ},$$

$$X_{с2г2} = \frac{X_{с2} * X_{г2}}{X_{с2} + X_{г2}} = \frac{1.35 * 1.76}{1.35 + 1.76} = 0.76 \text{ Ом},$$

$$E_{с2г2} = X_{с2г2} * \left(\frac{E_{с2}}{X_{с2}} + \frac{E_{г2}}{X_{г2}}\right) = 0.76 * \left(\frac{10.5}{1.35} + \frac{11.3}{1.76}\right) = 10.85 \text{ кВ},$$

$$R_{с2г2л} = R_{л3} + R_{л4} + R_{л2} + R_{л1} = 0.317 + 0.063 + 0.169 + 0.211 = 0.76 \text{ Ом},$$

$$X_{с2г2л} = X_{с2г2} + X_{л3} + X_{л4} + X_{л2} + X_{л1} = 0.76 + 0.21 + 0.042 + 0.112 + 0.14 = 1.264 \text{ Ом},$$

$$I^{(3)}_{с1г1кз} = \frac{E_{с1г1}}{\sqrt{3} * \sqrt{R^2_{с1г1} + X^2_{с1г1}}} = \frac{10.93}{\sqrt{3} * \sqrt{0^2 + 0.94^2}} = 6.72 \text{ кА},$$

$$I^{(3)}_{с2г2кз} = \frac{E_{с2г2}}{\sqrt{3} * \sqrt{R^2_{с2г2л} + X^2_{с2г2л}}} = \frac{10.85}{\sqrt{3} * \sqrt{0.76^2 + 1.264^2}} = 4.24 \text{ кА},$$

$$I^{(3)}_{ш1} = I^{(3)}_{с1г1кз} + I^{(3)}_{с2г2кз} = 6.72 + 4.24 = 10.96 \text{ кА},$$

$$I^{(2)}_{ш1} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I^{(3)}_{ш1} = \frac{\sqrt{3}}{2} * 10.96 = 9.47 \text{ кА}.$$

Аналогично рассчитываются остальные токи КЗ в оставшихся шинах, режимах и схемах подключения.

3. Выводы

Проведем анализ полученных результатов. Представим все данные в общей таблице (таблица 2).

Таблица 2

Результаты расчета потоков мощности и рабочих токов

Линия	Максимальная протекающая мощность S_{max}, МВА	Максимальный рабочий ток в линии I_{max}, А
Вариант 1		
Л1	8.4	461.2
Л2	6.47*	355.8*
Л3	7.2*	395.3*
Л4	6.7	368.8
Вариант 2		
Л1	6.26*	344.2*
Л2	7.2	395.3
Л3	8.3	456.1
Л4	5.4*	296.6*
Вариант 3		
Л1	6.26*	344.2*
Л2	8.57	471.4
Л3	7.4	403.2
Л4	8.34	458.7

Для простоты оценки в таблице выделены с помощью символа * наименьшие значения токов и мощностей. Максимальные значения выбраны исходя из сравнения значений со всех режимов работы.

Составим также подобную таблицу и для результатов расчета токов КЗ и также выделим наименьшие из имеющихся в таблице 3 значений символом *.

Таблица 3

Результаты расчета токов КЗ

	Трехфазный ток КЗ $I^{(3)}_{max}$, кА		
Шина	**Вариант 1**	**Вариант 2**	**Вариант 3**
Основной режим			
Ш1	10.96	10.52	9.87*
Ш2	10.79*	12.6	11.67
Ш3	10.86*	12.8	13.71
Ш4	12.13	9.89*	11.03
Ш5	10.97*	12.96	13.14
Ш6	10.86*	12.8	13.7
Режим аварийный 1			
Ш1	10.39	9.24	8.46*
Ш2	8.15*	9.87	9.26
Ш3	6.75*	9.33	10.03
Ш4	10.39	9.24	8.46*
Ш5	6.31*	9.15	9.33
Ш6	6.75*	9.33	10.03
Режим аварийный 2			
Ш1	11.89	10.46	9.95*
Ш2	6.02*	9.76	8.88
Ш3	7.3*	10.63	11.08
Ш4	11.89	10.46	9.95*
Ш5	7.85*	10.83	10.85
Ш6	7.3*	10.63	11.08

Исходя из результатов этих двух таблиц, можно сделать вывод, что наиболее оптимальным вариантом является вариант 1, когда источники распределенной генерации подключаются к питающим подстанциям. Более того, вариант такого подключения не требуют перестройки релейной защиты и автоматики, так как потоки мощностей имеют то же направление, что и без источников распределенной генерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1) Справочные сведения по синхронным генераторам тепловых и атомных электростанций [Электронный ресурс]. – URL: http://www.bntu.by/images/stories/ef/ESt/generator_sprav.pdf (дата обращения 01.06.2019);

2) Определение потокораспределения в линиях с двусторонним питанием [Электронный ресурс]. - URL: https://studopedia.ru/1_90146_opredelenie-potokoraspredeleniya-v-liniyah-s-dvuhstoronnim-pitaniem.html (дата обращения: 01.06.2019);

3) *Крючков И.П.* Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: учеб. пособие – М.: Изд. Центр «Академия», 2005. – 416 с.;

A SELECTION OF THE OPTIMAL OPTION OF THE DISTRIBUTED GENERATION SOURCES CONNECTINGTO THE ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM

Matkhalikov A.

al_aza47@mail.ru

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

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

In our days the distributed generation is one of the most priority and rapidly developing areas of the power engineering in Russia and abroad. It is no wonder, because connection of distributed generation makes it possible to cover the electricity demand of its own capabilities in isolation mode. It makes some difficulties with connection place if the electrical network has a complex structure. A few distributed generation connection options will be observed and the best option for connecting to the network based on the calculated data will be chosen in this paper.

УДК 621.313.333

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОГО ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБМОТКОЙ

Миняров А.Х., Веселов А.М.

miniar-a@ya.ru, veselov.a.m@yandex.ru

Научный руководитель: Исмагилов Ф.Р., д-р техн. наук

(Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа)

Основной целью работы является разработка и исследование асинхронного двигателя с комбинированной обмоткой для перспективных летательных аппаратов. В статье представлена схема обмотки асинхронного двигателя с комбинированной. Разработанная компьютерная модель, на основе разработанных компьютерных моделей доказывается работоспособность асинхронного двигателя с комбинированной обмоткой.

На сегодняшний день электродвигатель переменного тока (ЭД) широко применяется в электроприводах органов управления полетом и нерегулируемых приводах в топливных и гидравлических системах, вентиляторах, в погрузочно-разгрузочных механизмах. Разнообразие решаемых задач ЭД на борту летательного аппарата делает их практически одним из основных потребителей электроэнергии [1].

С развитием концепций более электрического самолета, функциональных задачи решаемых ЭД на борту летательного аппарата, значительно увеличивается. При этом увеличивается и потребляемая ими мощность. Поэтому ЭД во многом обеспечивают

функционирование летательного аппарата. Ввиду ограниченности электрической мощности первичных источников электроэнергии на борту ЛА, особенно остро стоят задачи снижения их энергопотребления за счет повышения энергетической эффективности авиационных ЭД и повышения коэффициента мощности при сохранении жестких требований к изделиям аэрокосмической отрасли по минимальным массогабаритным показателям при максимальной надежности.

На сегодняшний день в современных ЛА основным типом применяемых ЭД мощностью от 10кВт до 1 кВт являются асинхронные электродвигатели. Это обусловлено их простотой обслуживания, а также возможностью пуска от сети переменного тока с частотой 400 Гц без дополнительной системы управления и преобразования [2].

Кроме того требований к надежности и минимальным массогабаритным показателям КПД авиационных асинхронных ЭД находится в диапазоне 70–80 %, а коэффициент мощности составляет не более 0,8. Замена этих АЭД при модернизации ЛА бесколлекторными ЭД зачастую невозможна. Так как асинхронные ЭД топливных насосов выполняются необслуживаемыми и эксплуатируются в агрессивной среде (авиационный керосин), а использование электронной системы управления, без которой бесколлекторный ЭД не работоспособен, не позволяет достигнуть этих требований. Решением данной проблемы является использование асинхронных двигателей с комбинированной обмоткой [3].

Данный тип ЭД обладает КПД более высоким по сравнению с бесколлекторными ЭД, меньшим пульсациям момента и низким пусковым током.

Поэтому целью данной работы является разработка асинхронного двигателя с комбинированной обмоткой.

Исходные данные исследуемого асинхронного двигателя приведены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные для проектирования асинхронного двигателя

Наименование параметра	Номинальные данные
Мощность	2кВт
Частота	400Гц
Частота вращения	7500об/мин
Напряжение	200В

Активная длинна АД составляет 150мм, ротор выпален короткозамкнутый с воздушной системой охлаждения. Статор АД выполнялся из электротехнической стали 2421 с толщиной листа 0,35 мм. Обмотка статора выполнялась проводом ПНЭТ-имид, диаметр провода 1,18 мм.

Для исследования асинхронного двигателя с комбинированной обмоткой была создана двухмерная динамическая компьютерная модель в программном комплексе *ANSYS Maxwell*, на которой была выполнена отработка всех режимов работы [4-7]. Схема подключения обмоток показана на рисунке 1.

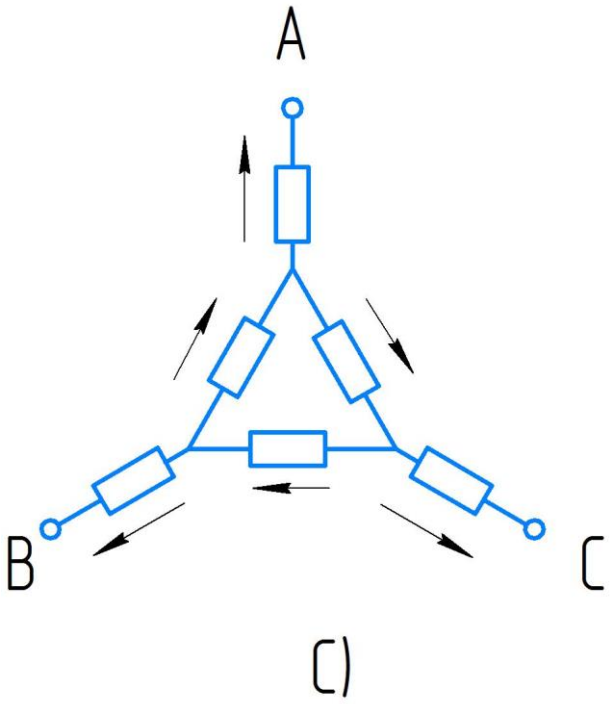


Рис. 1. Схема соединения обмоток асинхронного двигателя с комбинированной обмоткой

Результаты компьютерного моделирование в программном комплексе *ANSYS Maxwell* приведены на рисунке 2.

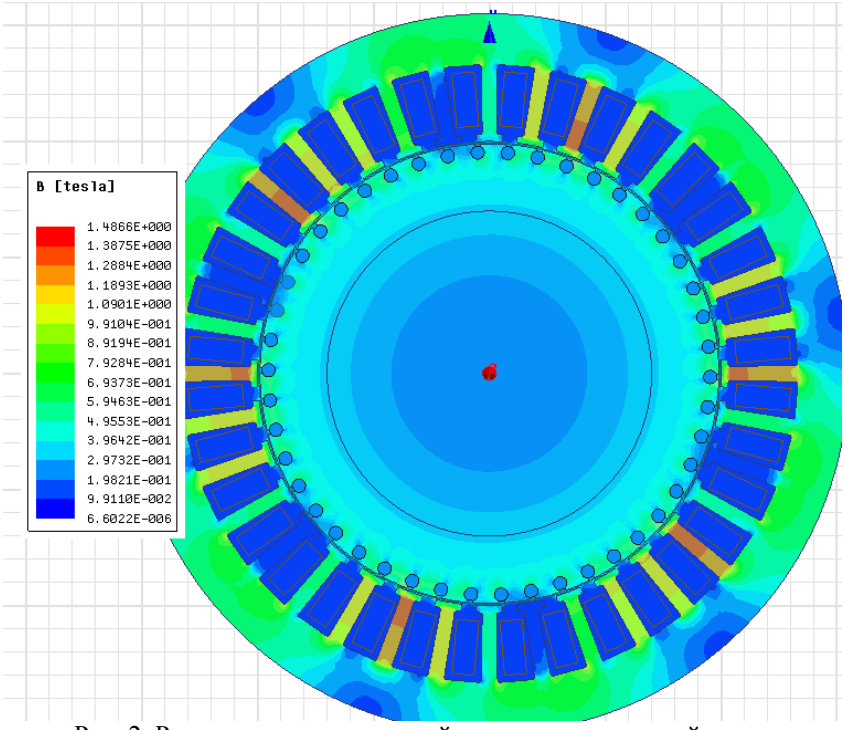


Рис. 2. Распределение магнитной индукции в активной части

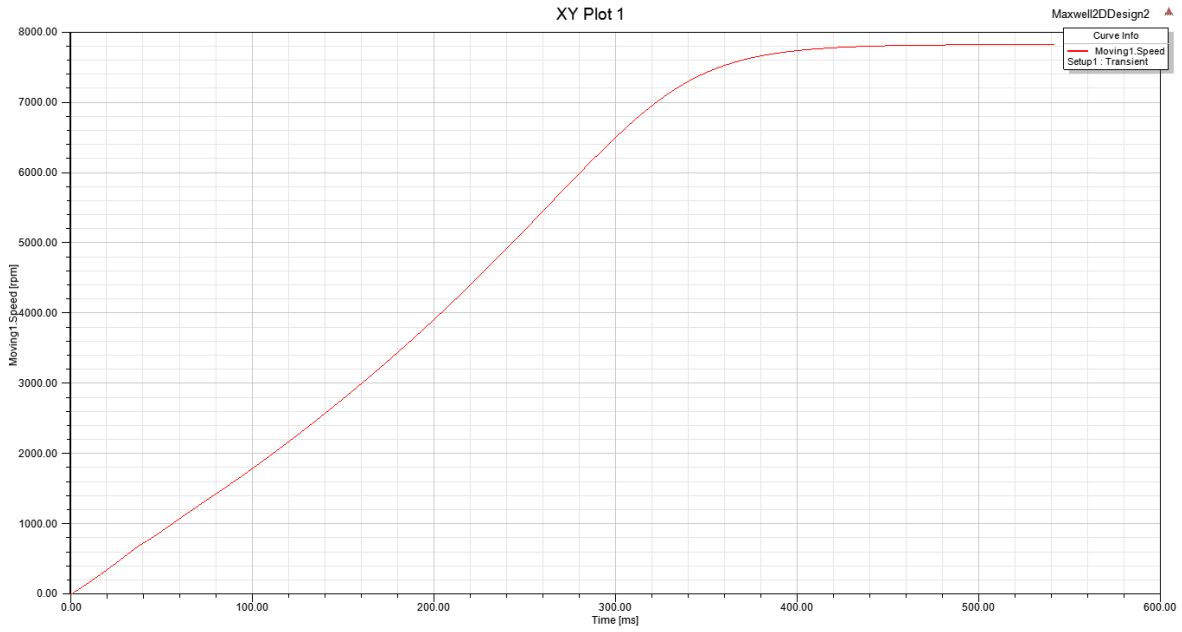


Рис. 3. Характеристика разгона

Из анализа рисунка 2 видно, что индукция в магнитопроводе АД составляет не более 1,4 Тл, усредненное значение магнитной индукции в зубцах 1,2 Тл. На рисунке 3 показана разгонная характеристика асинхронного двигателя с комбинированной обмоткой, разгоняется до номинальной частоты вращения ротора за 400мс.

Таким образом, результаты компьютерного моделирования потвердили работоспособность асинхронного двигателя с комбинированной обмоткой. Кроме того, комбинированная обмотка обладает следующими преимуществами по сравнению классическими обмотками, а именно, возможность использования таких же магнитопроводов, меньший пусковой ток и низкую пульсации момента.

Работа выполнена при поддержке гранта республики Башкортостан, проект №19ГР

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Грузков С.А., Останин С.Ю., Сугробов А.М., Токарев А.Б., Тыричев П.А.* Электрооборудование летательных аппаратов: учебник для вузов. Т. 2. Москва. МЭИ, 2005. 564 с.

2. *Волокитина Е.В., Власов А.И., Опалев Ю.Г.* Применение полевых математических моделей для проектирования обмоток вентильных электродвигателей // Электроника и электрооборудование транспорта. № 3. 2013, С. 12-15.

3. Гер*ащенко А.Н., Куликов Н.И., Макаренко А.В., Сорокин А.Е., Старовойтова Н.П.* Применение компьютерных технологий при проектировании специализированных вентильных двигателей // Вестник Московского авиационного института. Т. 18. № 4. 2011, С. 54-64.

4. *M.V. Cistelecan, F.J.T.E. Ferreira, and M. Popescu*, “Adjustable Flux Three-Phase AC Machines With Combined Multiple-Step Star-Delta Winding Connections”, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 25, No.2, , June 2010. pp. 348-355

5. *Seyed Morteza Raziee, Onur Misir,Bernd Ponick,* Combined Star-Delta Winding Analysis, : IEEE Transactions on Energy Conversion (Volume: 33 , Issue: 1 , March 2018)/Page(s): 383 – 394

6. *Henning Kasten; Wilfried Hofmann,* View All Authors/Electrical machines with higher efficiency through combined star-delta windings/2011 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)/15-18 May 2011/Page(s): 1374 – 1379

7. *Onur Misir, Seyed Morteza Raziee, Nabil Hammouche, Christoph Klaus, Rainer Kluge, Bernd Ponick,* "Prediction of Losses and Efficiency for Three-Phase Induction Machines Equipped

With Combined Star–Delta Windings", Industry Applications IEEE Transactions on, vol. 53, no. 4, 2017. pp. 3579-3587

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A PROSPECTIVE FAILURE-RESISTANT ASYNCHRONOUS MOTOR WITH A COMBINED WARMING

Miniyarov A., Veselov A.
Supervisor: F. Ismagilov, Doctor of Technical Sciences
(Ufa State Aviation Technical University, Ufa)

The main purpose of the work is the development and research of an asynchronous motor with a combined winding for promising aircraft. The article presents a scheme for winding an asynchronous motor with a combined one. The developed computer model, on the basis of the computer models developed, proves the operability of an asynchronous motor with a combined winding.

УДК 621.8.038

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ МАСС В РАЗЛИЧНЫХ СФЕРАХ ИНЖЕНЕРИИ

Мищук И.А.
ivanmichuk20@gmail.com
Научный руководитель: Р.Х. Макаева, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань)

Для решения некоторых современных инженерных задач требуется использование новых принципов и подходов к проектированию устройств. Электромагнитные ускорители масс являются оптимальными претендентами на использование в некоторых системах, где требуется придание импульса определённому телу. Они решают ряд проблем, которыми обладают современные системы, в том числе и огнестрельное оружие.

Введение

Электромагнитные ускорители масс (ЭУМ)– устройства, разгоняющие снаряд малой массы за счёт действия сил электромагнитной индукции до сверхбольших скоростей. [1] Данные устройства имеют перспективы использования во многих сферах.

Многие годы вынашиваются идеи по продвижению электромагнитных ускорителей масс (ЭУМ) во многих областях деятельности человека. У них есть множество плюсов и возможностей. Однако имеется и ряд недостатков, которые с большой вероятностью будут решены, однако на это потребуется неопределённое время.

Прогресс не стоит на месте и использования инновационных источников питания позволит снять ограничения для подобного рода устройств и поспособствует их появлению в повседневной жизни.

Проблема

В настоящее время в инженерии существует множество проблем, которые позволит решить использование электромагнитных ускорителей масс. Среди них:

- Ряд недостатков вспомогательного авиационного вооружения, которые заставляют отказать от применения огнестрельного оружия в пользу ЭУМ
- Обеспечение защиты от столкновений с небесными телами космических станций, в том числе тех, что расположены на спутниках планет, где отсутствует атмосфера
- Замена традиционных способов вооружения

Однако и у самих ЭУМ есть существенные недостатки, один из которых – чрезвычайно низкий КПД

Идея

На основе вышеизложенных проблем решено создать прототип устройства, имеющего более высокий КПД и использующего всего один источник энергии для разгона снаряда – электричество. Модификации прототипа позволили бы решить проблемы и задачи, решение которых возлагают на ЭУМ.

Рассмотрим основные типы электромагнитных ускорителей масс и выберем лучшие.

Устройство и особенности ЭУМ

Электромагнитные ускорители масс по своему принципу действия делятся на три типа:

- Пушки Гаусса
- Катушка Томпсона
- Рельсотрон (Рэйлган)

Остановимся на пушке Гаусса и рельсотроне.

Пушка Гаусса является очень удобным прототипом для экспериментов с явлением электромагнитной индукции. Это и позволило ей заслужить большую популярность среди любителей электроники. Интернет пестрит сайтами и видео, посвященными созданию и испытанию пушек Гаусса. Состоит она из соленоида (или нескольких, если речь идёт о многоступенчатом ускорителе), батареи конденсаторов и источника питания. Схема предельно проста и её может изготовить каждый, кто владеет школьными знаниями в физике. Однако при создании всплывает основной факт, который убивает весь потенциал её использования, ничтожно малый КПД: 7-9% у одноступенчатого прототипа и около 27% у многоступенчатого. Преобразовывается в кинетическую энергию только квадратный корень от энергии заряда от конденсаторов. У рельсотрона КПД гораздо выше, однако и он имеет ряд недостатков.[1]

Гораздо более сложный в устройстве высоковольтный электромагнитный ускоритель масс, способный разгонять маленькие снаряды до сверхбольших скоростей.

Вместо соленоида в рельсотроне для разгона используются две большие рельсы под напряжением, снаряд является проводником, который стоя на рельсах замыкает цепь и создаёт короткое замыкание в ней, что повышает силу тока в цепи до немыслимых пределов благодаря высоковольтным конденсаторам. По формуле силы Ампера, чем выше сила тока в проводнике, тем больше кинетическая энергия, выталкивающая его из магнитного поля. Для осуществления выстрела снаряд следует подавать на рельсы с начальным импульсом с помощью какого-либо устройства. Однако если делать это с помощью сжатого воздуха, огнестрельного заряда или пружины выявляется ряд проблем, целесообразность его использования, отдача, использование дополнительной энергии. Основной причиной крайне малой распространённости рельсотрона является ряд нерешённых инженерных задач. Самые главные из которых: громоздкость источников питания и батарей конденсаторов, а также быстрый износ рельсов. [1]

На данный момент очень распространены в некоторых отраслях приборостроения ионистры (суперконденсаторы), построены по электрохимическому принципу, ёмкость их может достигать 3000 фарад, а напряжение, которое может заряжать его до 320 В, однако ионистры имеющие большую ёмкость (больше 500 фарад) могут заряжаться только напряжением меньше 3-5 В, что не позволяет применять их на практике. К тому же хоть они и запасают в 40 раз больше чем конденсаторы, они отдают её за гораздо больший промежуток времени. Поэтому их использование нецелесообразно, хотя даёт пищу для размышлений по поводу способов решения инженерных задач, связанных с ускорителями масс, с их помощью.

Другой проблемой является тепло, которое вырабатывается при выстреле (Рис.1), однако эту проблему легко решить системой охлаждения. Конструкция может быть построена по модульному принципу. Это позволит заменять сам ствол, батареи конденсаторов, выпрямитель и трансформатор. Это даст возможность создавать различные конфигурации

ЭУМ, в зависимости от множества факторов, которым они должны будут непременно отвечать.

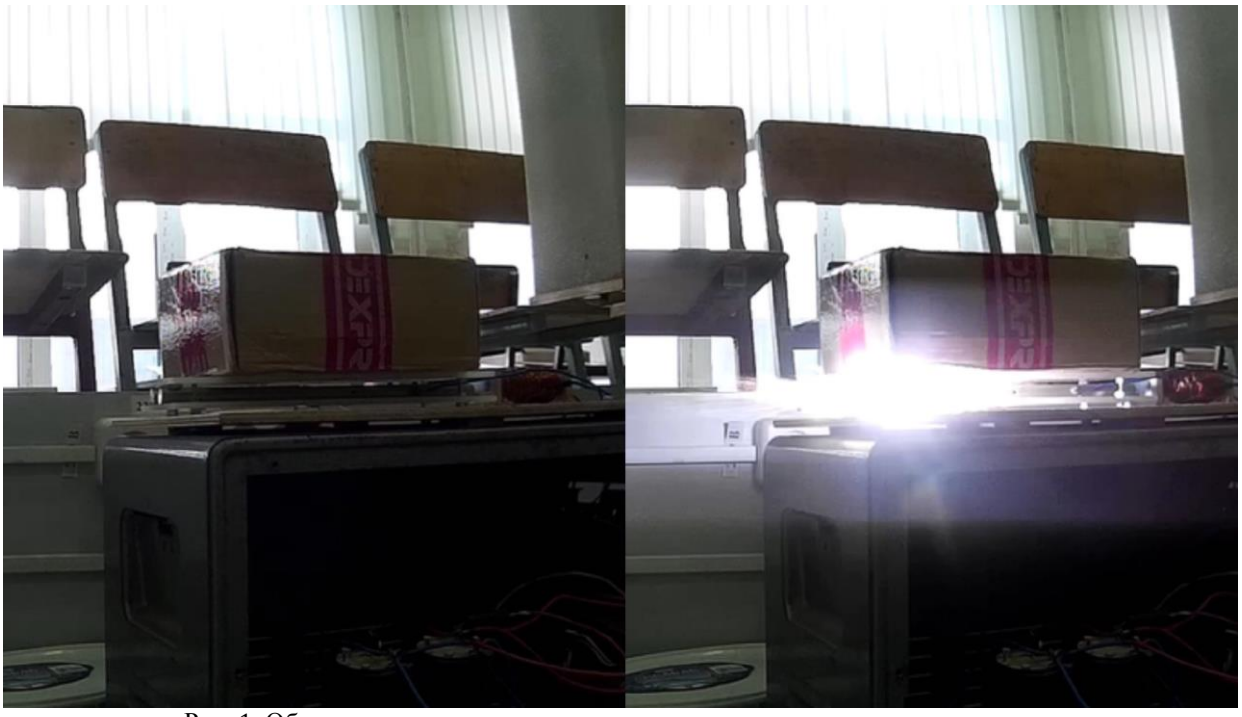


Рис. 1. Образование плазмы во время прохождения снаряда между рельсами

Формулировка задачи и требований к проекту

На основе изложенной выше информации для решения задач нам потребуется прототип установки имеющей высокий КПД. Такой КПД может дать только рельсотрон.

Проблему рельсотрона – начальный импульс снаряда можно решить несколькими способами:

- Пороховой заряд. Недостатки: рельсовая система теряет смысл, высокий уровень шума и отдача, потенциально опасный боекомплект, многократно усложняет систему, высокий уровень шума. Достоинства: высокий начальный импульс.
- Сжатый воздух. Недостатки: потребность ёмкостей в заправке, отдача, потенциально опасная пневмосистема. Достоинства: относительно высокий импульс.
- Механический импульс (пружина) Недостатки: потребность в перезарядке, сравнительно небольшой импульс. Достоинства: малошумность.
- Электромагнит (соленоид) Недостатки: сравнительно малый импульс (учитывая массу снаряда, который придётся разгонять это не является проблемой) Достоинства: абсолютное малая отдача и шум

Исходя из выше перечисленных достоинств и недостатков схем, наиболее оптимальным устройством для придания снаряду начального импульса является соленоид (катушка).

Таким образом прототип может разгонять снаряд исключительно за счёт тока высокого напряжения и при этом иметь довольно высокий КПД, одним из главных плюсов является минимальная отдача, имеется сила, пытающаяся разомкнуть рельсы. В таком устройстве рельсотрон и пушка Гаусса будут эффективно дополнять друг друга.

На основе изложенного ТЗ был создан прототип ЭУМ объединяющий в себе два принципа ускорения снаряда и имеющий характеристики соответствующие оптимальным для данного типа устройств (Рис.2).

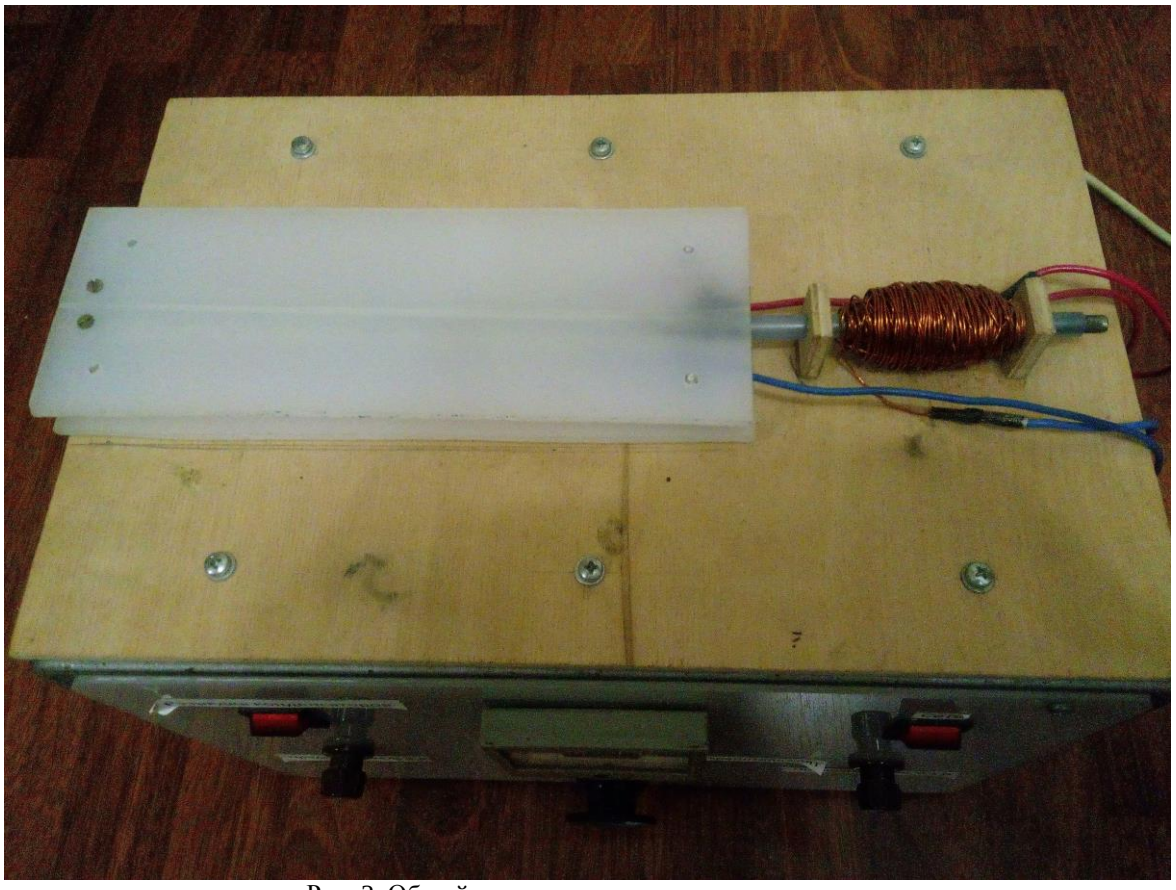


Рис. 2. Общий вид системы соленоид-рельсотрон

Цель проекта и применение

Целью проекта является создание прототипа устройства, которое поможет решить некоторые инженерные задачи, а также оптимизировать многие системы. Такие как:

1. Авиационное вооружение

Вспомогательное авиационное вооружение выполняет функцию последнего рубежа защиты самолёта и зачастую представлено огнестрельным оружием – авиационными пушками. Эти пушки имеют широкий ряд недостатков:

- Высокая отдача, которая иногда при стрельбе приводит к повреждениям конструкций фюзеляжа.
- Потенциально опасный боекомплект, риск детонации при пожаре.
- Отсутствие точного наведения орудия на цель (наведение осуществляется маневрированием)

Внедрение ускорителей масс вместо традиционного вооружения позволит:

- ✓ Минимизировать влияние отдачи орудия
- ✓ Не возить боекомплект (потребуются только проводящие ферромагнитные бруски)
- ✓ Появится возможность установить ствол на подвижную платформу, обеспечивающую безупречную стабилизацию и точность.

Размещение в самолёте батарей конденсаторов возможно без всяких проблем. Зарядка может осуществляться от вспомогательной силовой установки, которая используется только когда основные двигатели заглушены и выполняет функцию энергообеспечения самолёта.

Не менее важным решением является использование паразитного электростатического напряжения на фюзеляже летательного аппарата.

На данный момент для предотвращения негативного влияния статического электричества на летательных аппаратах установлены следующие средства защиты:

Перемычки металлизации, соединяющие отдельные элементы конструкции самолета между собой и массой самолета.

Разрядники, способствующие стеканию накопленного самолетом заряда статического электричества в атмосферу.

Токосъемники на тележках шасси для снятия статического заряда при приземлении и на стоянке самолета.

Стационарное заземление на стоянке.

Резервное заземление на необорудованной стоянке.

На самолётах электростатические разрядники установлены группами на законцовках крыла, киля, стабилизатора, а также других выступающих частях конструкции планера.

На вертолётах основным источником статического напряжения являются двигатели и воздушный винт. Вертолет типа «Си Кинг», зависший на высоте 18-20 м, будет иметь электростатический потенциал около 2 МВ. Время заряда вертолета, емкость которого 550 пФ, составляет около 27 с. Электростатические разрядники на вертолётах не применяются. При необходимости подцепки груза на внешнюю подвеску зависшего вертолёта тросом обязательно сначала касаются земли для снятия заряда, после чего его можно цеплять к грузу. [2]

Таким образом можно использовать электростатический заряд для питания ЭУМ, применяя либо сам самолёт, либо батарею конденсаторов для накопления заряда.

Кроме того, не стоит упускать возможность использования установки как средства ПВО для обеспечения безопасности охраняемого объекта. Со скоростью снаряда в 8 км/с установка будет способна перехватить абсолютно любой летательный аппарат, летящий даже на гиперзвуковой скорости.

2.Космическая отрасль

В настоящее время на околоземной орбите накопилось огромное количество разнообразного мусора. Его наличие таит в себе потенциальную опасность, столкновение даже маленького объекта со станцией на такой скорости может привести к катастрофе. В космосе любое из огнестрельных оружий не применимо по ряду причин:

- Отдача, которую имеют все образцы огнестрельного оружия придаст станции импульс
- Вакуум в космосе не позволит взорвать пороховой снаряд, потребуется окислитель
- Потребность в перезарядке пушки (автоматика очень сильно усложнит систему)

На любую космическую станцию можно поставить турель с электромагнитным орудием. Благодаря которой будет возможно сбивать космический мусор. Снаряды будут настолько малых размеров, что не придётся устанавливать громоздкий автомат заряжания для них.

Не стоит недооценивать также возможность установки турели для охраны постоянных станций на спутники, не имеющие атмосферы. Из-за отсутствия атмосферы любое космическое тело, упавшее на станцию может её уничтожить.

Поэтому для предотвращения подобных инцидентов можно установить ЭУМ рядом со станцией, при этом исключительно электрическое питание будет являться основополагающим фактором при его использовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Электромагнитные ускорители масс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gauss2k.narod.ru/. – Теория электромагнитного оружия. – (Дата обращения: 06.05.2019)..

2.Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/электростатический_разрядник – Электростатический разрядник. – (Дата обращения: 27.04.2019).

THE USE OF ELECTROMAGNETIC MASS ACCELERATORS IN VARIOUS FIELDS OF ENGINEERING

Mischuk I.
ivanmichuk20@gmail.com
Supervisor: R. Makaeva, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

To solve some modern engineering problems, the use of new principles and approaches to device design is required. Electromagnetic mass accelerators are the best candidates for use in certain systems where impulse to a specific body is required. They solve a number of problems possessed by modern systems, including firearms.

УДК 621.396.6

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ОБМОТКОЙ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ

Петров А.А.
petrovalekse95@mail.ru
Научный руководитель: А.Ю. Афанасьев, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной работе рассматривается асинхронный двигатель с обмоткой двойного питания. В процессе работы использовались модели классической двухслойной обмотки и обмотки двойного питания, аналитические и полевые методы расчета. Проведен анализ высших пространственных гармоник МДС, найдены коэффициенты увеличения первых пространственных гармоник и момента асинхронного двигателя.

В современных электромеханических системах находят широкое применение электрические машины переменного тока. Их важными показателями являются амплитуды первой и высших пространственных гармоник магнитной индукции в воздушном зазоре. Одним из путей улучшения гармонического состава магнитного поля в рабочем зазоре является применение обмотки двойного питания.

Основная идея такой обмотки заключается в том, что она состоит из двух обмоток, одна из которых соединяется в звезду, а другая в треугольник. При этом фазовый сдвиг между фазным и линейным напряжениями составляет 30°. Также обмотки сдвинуты по окружности на угол 30 эл.гр, что дает возможность получить индукцию воздушного зазора большую, чем индукция одной распределенной обмотки.

На рисунке 1 показана обмотка двойного питания с обмоткой *A, B, C*, соединенной в звезду, и с обмоткой *D, E, F*, соединенной в треугольник. Обмотки *A, B, C* и *D, E, F* являются диаметральными, сдвинуты в пространстве на один паз. Схема включения и векторная диаграмма напряжений показаны на рисунке 2.

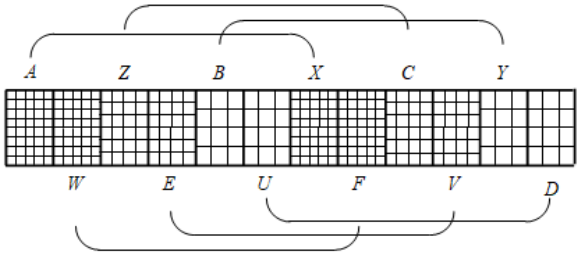


Рис. 1. Схема обмотки двойного питания при 12 пазах на два полюсных деления

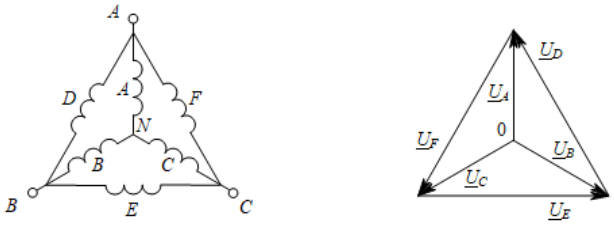


Рис. 2. Схема включения фаз обмотки и векторная диаграмма напряжений

Напряжения u_A, u_B, u_C образуют симметричную трехфазную систему прямой последовательности:

$$u_A = U_m \sin(\omega t); \quad \text{В} \qquad (1)$$

$$u_B = U_m \sin(\omega t - 2\pi/3); \qquad (2)$$

$$u_C = U_m \sin(\omega t - 4\pi/3). \qquad (3)$$

Напряжения u_D, u_E, u_F тоже образуют симметричную трехфазную систему прямой последовательности [1]:

$$u_D = \sqrt{3} U_m \sin(\omega t + \pi/6); \qquad (4)$$

$$u_E = \sqrt{3} U_m \sin(\omega t - \pi/2); \qquad (5)$$

$$u_F = \sqrt{3} U_m \sin(\omega t - 7\pi/6). \qquad (6)$$

Аналогичные соотношения справедливы для токов i_A, i_B, i_C и i_D, i_E, i_F. Однако амплитуда токов второй обмотки в $\sqrt{3}$ раз меньше, чем амплитуда токов первой обмотки. Число витков фазы второй обмотки в $\sqrt{3}$ раз больше, а амплитуды магнитодвижущей силы (МДС) обеих обмоток одинаковые. При этом активное сопротивление и индуктивность фазы второй обмотки в 3 раза больше аналогичных величин первой обмотки.

Ранее в журнале Вестник Казанского национального исследовательского технического университета была опубликована статья, посвященная двигателю с повышенными энергетическими показателями [2]. В ней были получены законы распределения МДС обмотки с двойным питанием и ее первой гармоники, представленные на рисунке 3.

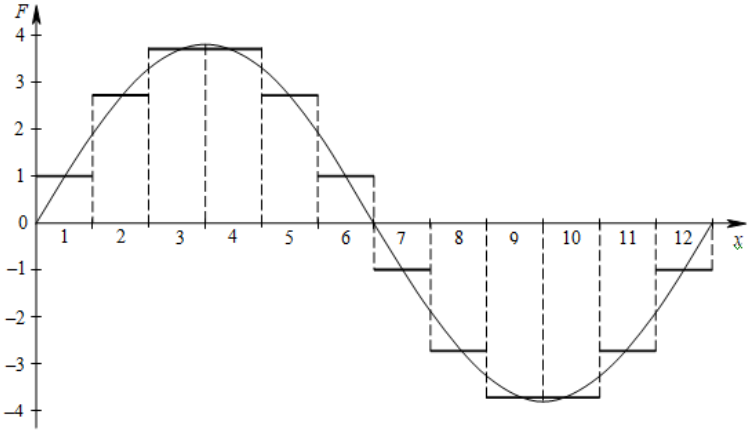


Рис. 3. Законы распределения МДС обмотки с двойным питанием и ее первой гармоники

Таблица 1

Значения амплитуд различных гармоник для двухслойной традиционной обмотки и для двойной обмотки с комбинированным питанием

N	1	5	7	11	13	17	19	23	25
A_{nm}	3,5639	0,0512	0,0366	0,3241	0,2742	0,0151	0,0135	0,1551	0,1427
A'_{nm}	3,8197	0	0	0,3473	0,2939	0	0	0,1662	0,1530
N	29	31	35	37	41	43	47	49	-
A_{nm}	0,0088	0,0083	0,1020	0,0966	0,0063	0,0060	0,0761	0,0730	-
A'_{nm}	0	0	0,1094	0,1035	0	0	0,0816	0,0783	-

В таблице 1 представлены значения амплитуд различных гармоник для двухслойной традиционной обмотки A_{nm} и для двойной обмотки с комбинированным питанием A'_{nm}.

В ходе проектирования рассматриваемой обмотки были проведены не только аналитические расчеты, представленные выше, но и смоделировано магнитное поле в программе ELCUT [3]. Был рассчитан электрический двигатель с номинальными характеристиками. В результате были получены геометрические размеры машины, а также среднее значение плотности тока в проводниках обмотки статора.

В ходе моделирования двигателя в программной среде ELCUT были получены значения высших пространственных гармоник магнитной индукции вдоль воздушного зазора, а также моменты асинхронных электрических машин при стандартной и рассматриваемой обмотке.



Рис. 4. Моделирование электрической машины переменного тока в программном комплексе ELCUT, при стандартной обмотке (левый рисунок) и обмотке двойного питания (правый рисунок)

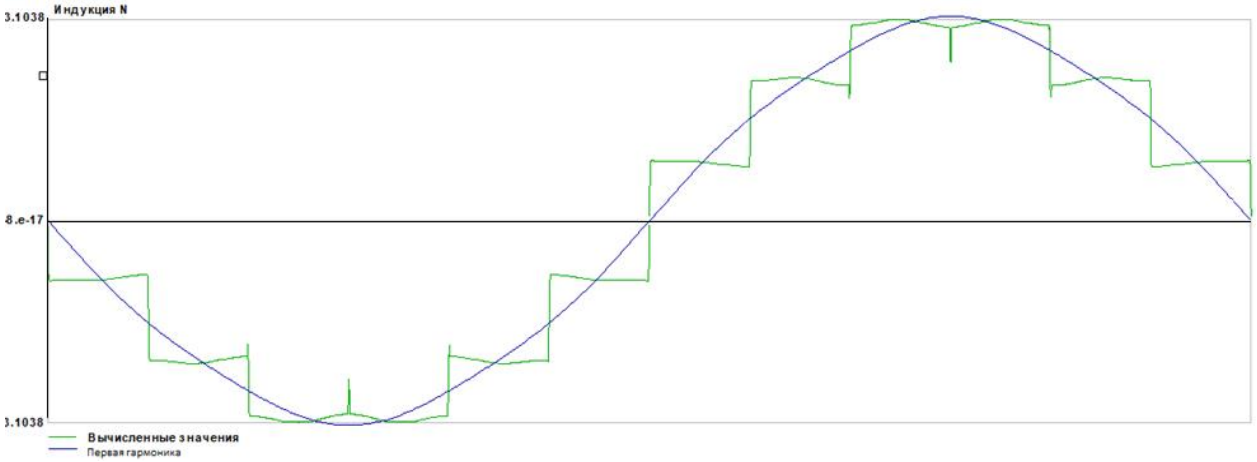


Рис. 5. Распределение магнитной индукции вдоль воздушного зазора статора при использовании стандартной обмотки

Отметим, что рисунок 3 подобен рисунку 6, следовательно, можно говорить о том, что расчеты проведены верно.

Программа ELCUT позволяет разложить магнитную индукцию вдоль воздушного зазора на первую и высшие пространственные гармоники.

В таблице 2, 3 приведены значения высших пространственных гармоник, рассчитанных аналитически и путем моделирования магнитного поля.

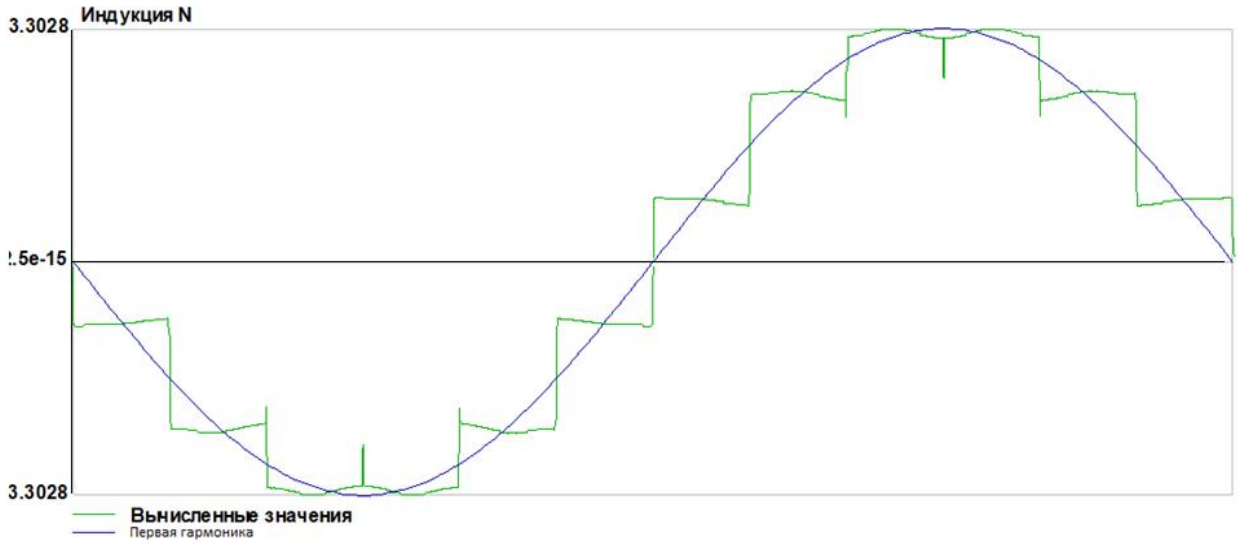


Рис. 6. Распределение магнитной индукции вдоль воздушного зазора статора при использовании обмотки двойного питания

Таблица 2

Сравнение результатов при аналитическом расчете и моделировании поля обмотки двойного питания

Номер гармоники	Амплитуды МДС при аналитическом расчете	Амплитуды индукции при моделировании в Elcut	Относительные значения амплитуд при аналитическом расчете	Относительные значения амплитуд при моделировании
1	3,8197	3,3067	1,0000	1,0000
11	0,3473	0,3597	0,0909	0,1088
13	0,2939	0,2325	0,0769	0,0703
23	0,1662	0,1551	0,0435	0,0469
25	0,1530	0,1317	0,0401	0,0398
35	0,1094	0,1057	0,0286	0,0320
37	0,1035	0,0862	0,0271	0,0261
47	0,0816	0,0803	0,0214	0,0243
49	0,0783	0,0630	0,0205	0,0190

Таблица 3

Сравнение результатов при аналитическом расчете и моделировании поля стандартной обмотки

Номер гармоники	Амплитуды МДС при аналитическом расчете	Амплитуды индукции при моделирование в Elcut	Относительные значения амплитуд при аналитическом расчет	Относительные значения амплитуд при моделировании
1	3,639	3,0841	1,0000	1,0000
5	0,0512	0,0631	0,0141	0,0205
7	0,0366	0,0442	0,0101	0,0143
11	0,3241	0,3353	0,0891	0,1087
13	0,2742	0,2174	0,0754	0,0705
17	0,0151	0,0180	0,0041	0,0058
19	0,0135	0,0149	0,0037	0,0048
23	0,1551	0,1443	0,0426	0,0468
25	0,1427	0,1235	0,0392	0,0400
29	0,0088	0,0109	0,0024	0,0035
31	0,0083	0,0090	0,0023	0,0029
35	0,1020	0,0982	0,0280	0,0318

37	0,0966	0,0810	0,0265	0,0263
41	0,0063	0,0079	0,0017	0,0026
43	0,0060	0,0063	0,0016	0,0020
47	0,0761	0,0746	0,0209	0,0242
49	0,0730	0,0594	0,0201	0,0193

Для более наглядной картины были построены графики амплитуд гармоник в относительных единицах.

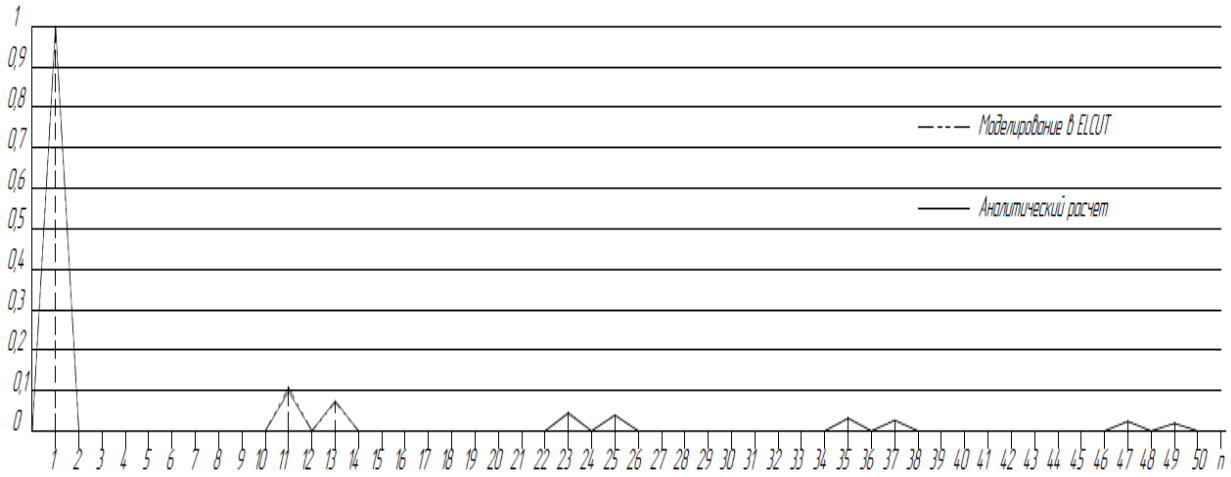


Рис. 7. Результаты расчета поля обмотки двойного питания аналитическим методом и моделированием

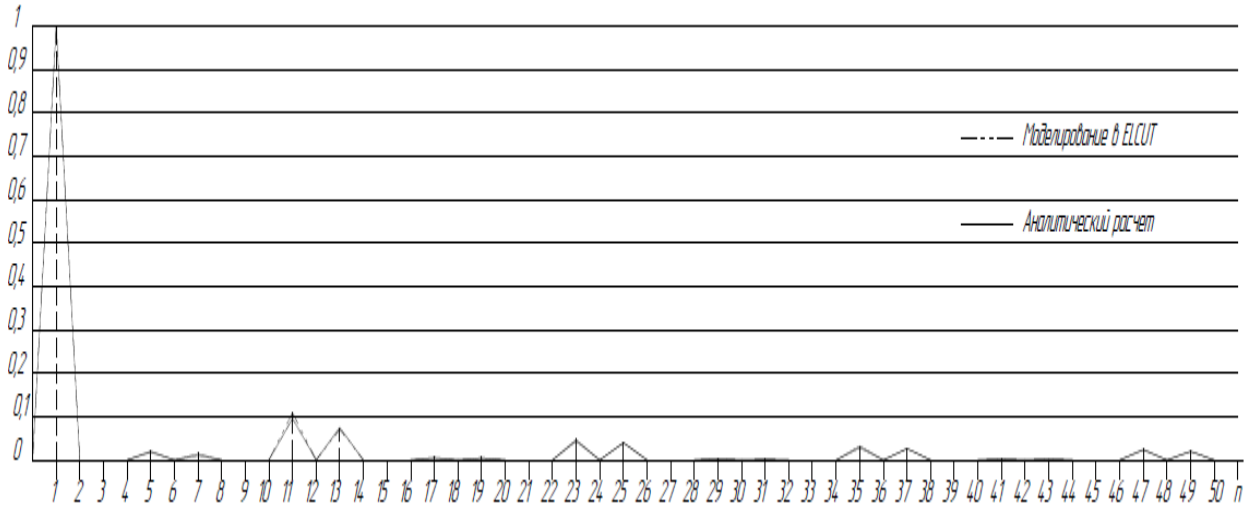


Рис. 8. Результаты расчета поля стандартной обмотки аналитическим методом и моделированием

Программа ELCUT позволяет получить моменты электрических машин. В таблице 4 показаны выходные моменты асинхронных двигателей, при стандартной обмотке и при обмотке двойного питания.

Таблица 4

Момент электрической машины при стандартной обмотке и обмотке двойного питания

Вращающий момент	Стандартная обмотка	Обмотка двойного питания
Среднее значение	21129 Н·м	24257 Н·м
Максимальная величина	34680 Н·м	39583 Н·м
Размах колебаний	13551 Н·м	15326 Н·м
Мгновенное значение	27790 Н·м	31980 Н·м

Как видно из таблицы 4, увеличение выходного момента при использовании обмотки двойного питания составляет 14,14%, что сопоставимо с данными, полученными при аналитическом расчете [2]. Также рисунки 7, 8 показывают совпадение аналитического расчета и моделирования.

Приведем основные выводы по проделанной работе.

1. Переход на обмотку двойного питания с соединением фаз в звезду и треугольник позволяет при сохранении мощности потерь в обмотке статора увеличить амплитуду МДС на 7,18 %, что соответствует увеличению момента синхронной машины на 7,18 %, а асинхронной машины – на 14,87 %. Однако при сохранении плотности тока мощность потерь в лобовых частях обмотки статора немного возрастет из-за увеличения длины лобовых частей при диаметральной обмотке.

2. Переход на диаметральную обмотку двойного питания приводит к полному отсутствию высших пространственных гармоник с номерами 5, 7, 17,19, 29, 31 и т.д. у новой обмотки. Это облегчает устранение других высших пространственных гармоник.

3. Сравнение результатов расчета магнитного поля в рабочем зазоре аналитически и с помощью моделирования магнитного поля в системе Elcut позволяет сделать вывод о высокой точности аналитического расчета с помощью простой программы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Прохоров С.Г., Хуснутдинов Р.А.* Электрические машины. Казань, Издательство КГТУ, 2002

2. *Афанасьев А.Ю., Петров А.А., Каримов А.Р*. Анализ обмотки двойного питания при двенадцати пазах статора // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н.Туполева, 2018, ISSN 2078-6255

3. ELCUT [Электронный ресурс], URL: http:// https://elcut.ru/ (Дата обращения: 02.04.2019).

4. *Афанасьев А.Ю*. Основы автоматизированного электропривода. Казань, Издательство КГТУ им. А.Н.Туполева, 2005. – 122 с.

5. *Демирчян К. С., Нейман Л. Р., Коровкин Н. В.* Теоретические основы электротехники: Учебник для вузов. 5-уизд. Т. 2. – СПб.: Питер, 2009

6. *Хуснутдинов Р.А., Шарафиева А.Р*. «Расчет электродвигателей малой мощности». Казань, КНИТУ им. А.Н. Туполева, кафедра «Электрооборудования», 2010.

RESEARCH ASYNCHRONOUS ENGINE WITH DOUBLE POWER SUPPLY

Petrov A.

petrovalekse95@mail.ru

Supervisor: A. Afanasyev, Doctor of Technical Sciences, Professor

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

This paper discusses an asynchronous motor with a dual-power winding. In the process of work, the models of classical two-layer winding and double power winding, analytical and software methods of calculation were used. A comparison of the parameters of the windings is carried out, the coefficients of increasing the first spatial harmonics of the MDS and the torque of the induction motor are found.

УДК 62-50

СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОВЫШЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Петров А.А.
petrovalekse95@mail.ru
Научный руководитель: О.Г. Жукова, канд. пед. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной работе рассматривается и разрабатывается схема управления двигателем, с повышенными характеристиками. Результатом исследования является разработка схемы управления с широтно-импульсной модуляцией.

Leistungselektronikgeräte sind ein sehr weites und sich schnell entwickelndes Gebiet der Technologie. Eines der wichtigsten Objekte in diesem Bereich ist ein Halbleiterkonverter für elektrische Energie. Der Halbleiterkonverter ist das Hauptelement der Sekundärstromquellen und wird in elektrischen Antriebssystemen, Kraftfahrzeugen, Kommunikations-, Computer- und Haushaltsgeräten verwendet.

Für die Umwandlung von elektrischer Energie zusammen mit Halbleiterbauelementen können andere Arten von Elementen verwendet werden - Transformatoren, Drosseln, Kondensatoren.

Autonome Spannungsumrichter mit Schlüsselverwaltung nach dem Prinzip der Pulsweitenmodulation (PWM) bei hoher Trägerfrequenz sind die Hauptumrichtertypen für einen einstellbaren Gleich- und Wechselstromantrieb im gesamten Leistungsbereich [1].

In Abb. Fig. 1 zeigt den Aufbau des Leistungsteils einer Asynchronmotorfrequenzsteuerschaltung. Moderne elektrische Antriebe mit Wechselstrommotoren verwenden die Prinzipien der Frequenzstromregelung und komplexe Algorithmen, einschließlich Vektorregelalgorithmen. Solche Antriebe basieren auf zwei- oder dreiphasigen (je nach Motortyp) Wechselrichtern mit Gleichstromzwischenkreis. Die Spannungsregelung erfolgt bei ihnen entweder mit Hilfe eines geregelten Netzgleichrichters oder mit Hilfe einer Pulsweitenmodulation im Zwischenkreis über die Schaltung CHOPPER (einphasig schaltend) oder durch direkte PWM-Ansteuerung der Wechselrichtertasten. Dank der Errungenschaften auf dem Gebiet der Hochfrequenzschlüssel wird in letzter Zeit das letztere Schema verwendet. Diese Schaltung erleichtert auch die Steuerung der Form der Ausgangsspannung.

Derartige Antriebe enthalten neben den eigentlichen Frequenzumrichtern Schutzelemente gegen Überschreiten der zulässigen Ströme und Spannungen sowie gegen Überschreiten der zulässigen Anstiegsgeschwindigkeiten (*di/dt, du/dt*). Die Wandlerschaltung enthält auch Rauschunterdrückungsnetzwerkfilter.

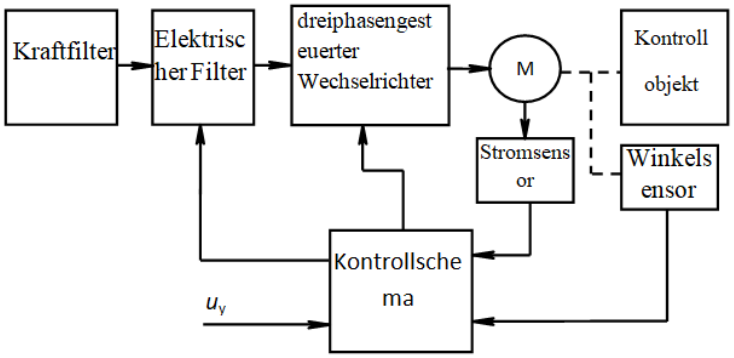


Abb. 1. Aufbau des Leistungsteils des Frequenzregelkreises des Asynchronmotors

Früher in der Zeitschrift Herald der Kazan National Technical University wurde ein Artikel veröffentlicht, der sich dem Motor mit erhöhter Energieeffizienz widmet. In diesem Artikel schlagen wir vor, einen Steuerkreis für einen Asynchronmotor [2] zu erstellen.

Wenn wir die Ergebnisse der Strukturanalyse des obigen Schemas sowie andere Systeme zur elektronischen Umwandlung elektrischer Energie zusammenfassen, können wir den Schluss ziehen, dass die folgenden Hauptmodule in einer bestimmten Konfiguration im Leistungsteil solcher Geräte enthalten sind:

- Netzgleichrichter (gesteuert oder nicht verwaltet);
- ein Glättungsfilter und / oder eine Drossel im Fall eines Stromumrichters;
- Einphasenschalter im Zwischenkreis (Wechselrichter);
- Mehrphasen-Wechselrichter mit oder ohne PWM-Steuerung;
- Netzentstörfilter;
- Stromsensoren im Zwischenkreis und im Lastkreis;
- Schutzelemente gegen Überstrom, Kurzschluss, Überspannung sowie gegen unzulässige Überschreitung von *di / dt*, *du / dt*.

Auf der Grundlage des Vorstehenden können Sie ein Steuerungsschema erstellen. Bild 2 zeigt den Regelkreis eines Asynchronmotors.

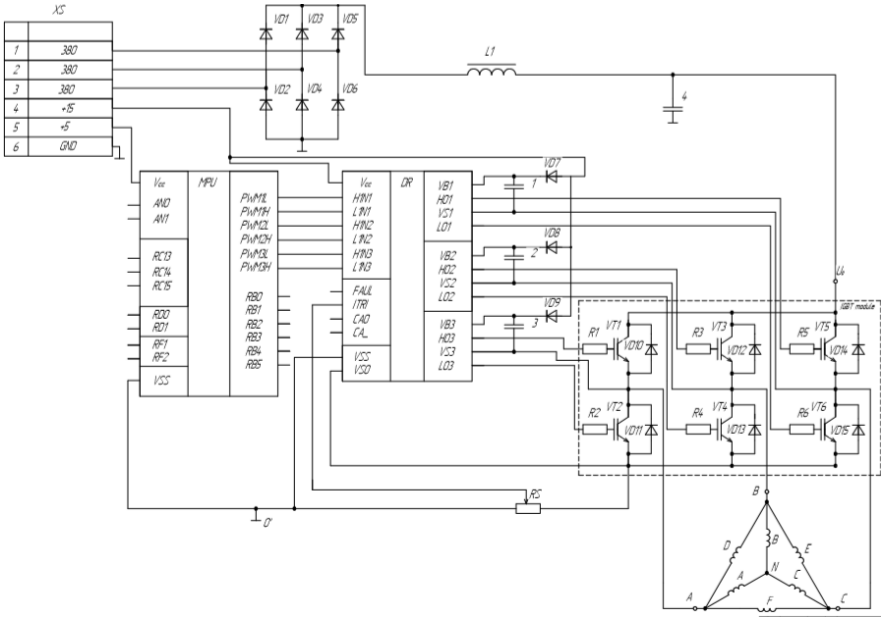


Abb. 2. Elektrischer Schaltplan der Stromversorgung und Kontrolle des arteriellen

Drucks mit einer doppelten Versorgungswicklung

Dem Eingang des Frequenzumrichters wird ein Drehstromnetz aus Wechselspannungen mit einer Frequenz von 50 Hz, einer Spannung von 220 V oder 380 V zugeführt, bei leistungsschwachen ZFs bis zu mehreren Kilowatt wird manchmal eine einphasige Spannung von 220 V verwendet [3].

Der Leistungsteil des Spannungswechselrichters ist eine Brückenschaltung mit sechs Transistorschaltern mit Sperrdioden. Neben den bekannten Bipolar- und Feldeffekttransistoren haben derzeit leistungsstarke MOSFET-Feldeffekttransistoren, Bipolartransistoren mit isoliertem Gate vom IGBT-Typ und Steuerthyristoren vom GTO-Typ breite Anwendung gefunden.

Es ist bekannt, dass IGBT-Transistoren die Vorteile einer einfachen Steuerung wie bei MOSFET-Transistoren und geringe Leitungsverluste aufweisen, die für Bipolartransistoren charakteristisch sind. Traditionell werden IGBT-Transistoren dort eingesetzt, wo mit hohen Strömen und Spannungen gearbeitet werden muss. IGBT-Transistoren produzieren derzeit Dutzende von Herstellern. Unter ihnen sind InfineonTechnologies, Semikron, International Rectifier, Fairchild Semiconductor, Hitachi, Mitsubishi, FUJI, IXYS, Power Integration, Dynex Semiconductor und andere.

Die Verwendung eines Frequenzumrichters in Kombination mit einem Asynchron-Elektromotor mit doppelter Wicklungsversorgung ermöglicht abhängig von der erforderlichen Drehzahl und der

Leistung des Pumpenaggregats eine Energieeinsparung.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Чубуков К. И.* Исследование и разработка вариантов широтно-импульсной модуляции в трехфазных автономных инверторах напряжения с двигательной нагрузкой – Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Чебоксары – 2010.

2. *Афанасьев А.Ю., Петров А.А., Каримов А.Р.* Анализ обмотки двойного питания при двенадцати пазах статора // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н.Туполева, 2018, ISSN 2078-6255

3. *Прохоров С.Г.* Электрические машины: учеб. пособие для студ.вузов/ С.Г. Прохоров, Р.А. Хуснутдинов. – Ростов на Дону: Феникс, 2012. – 409 с.

4. *Мустафин А.Х.,* Немецко-Русский Русско-Немецкий словарь, Москва. 2010. ISBN 5-902124-08-5.

5. *Маковский М.М.,* Этимологический словарь современного немецкого языка. Москва. 2004.

AC MOTOR CONTROL DIAGRAM MIT VERBESSERTEN ENERGIEEIGENSCHAFTEN

Petrov A.

PetrovAlekse95@mail.ru

Supervisor: O.Zhukova, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

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

In dieser Arbeit wird der Motorsteuerkreis mit verbesserten Eigenschaften betrachtet und entwickelt. Das Ergebnis der Forschung ist die Entwicklung eines Impulsbreitenmodulationssteuerschemas.

УДК 621.311

АСПЕКТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРИЛОЖЕНИЯ АЛГОРИТМА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ

Проничев А.В., Солдусова Е.О.

teyoma@bk.ru

Научный руководитель: Е.М. Шишков, канд. техн. наук, доцент

(Самарский государственный технический университет, г. Самара)

Математическое моделирование и расчет электрических режимов микрогрида были произведены в ПК RastrWin3 с целью учета потерь в электроэнергетической системе. Были написаны программы для программируемого реле ОВЕН в среде OWEN Logic, которые реализуют автоматизированное управление режимом микросети.

Решение задач, стоящих перед современной электроэнергетикой, требует применения инновационных технологических решений. Одним из средств решения задач управления режимами электроэнергетических систем и организации систем учёта электроэнергии для систем, характеризующихся большим числом взаимодействующих между собой агентов – участников локального рынка электроэнергии, является технология распределённого реестра [1].

Особенности действующего в настоящее время российского законодательства, регулирующего энергетические рынки, не позволяют в полной мере использовать технологии распределённого реестра для организации взаиморасчётов между потребителями синхронных зон Единой национальной энергосистемы (ЕНЭС). Однако, данный подход может свободно применяться для функционирования новых и реконструируемых энергосистем, работающих изолированно от ЕНЭС. К настоящему времени более 25 млн. человек проживают в зонах децентрализованного и автономного электроснабжения,

занимающих 2/3 территории Российской Федерации [2-3].

В настоящей работе предложен подход к построению системы коммерческого учёта электроэнергии для микрогрида, основанный на технологиях распределённого реестра и умных контрактов, реализуемых посредством системы автоматизированного управления режимом.

Целью работы является научное обоснование и формирование подходов к практической реализации систем автоматизированного управления режимами микрогрида на основе технологий распределённого реестра. Управление режимом осуществляется в целях поддержания необходимого уровня надёжности электроснабжения, показателей качества электроэнергии и минимизации резервов мощности миркрогрида при использовании рыночных подходов, предложенных в [2-4].

Результатом внедрения предложенных подходов станет снижение величины затрат участников локального рынка электроэнергии – собственников генерирующего оборудования на его приобретение и установку.

Расчет электрических режимов

В качестве примера рассмотрим возможность автономного электроснабжения части коттеджного поселка «Экодолье», включающей в себя 50 частных домов с газовыми плитами.

Определим некоторые характеристики узла нагрузки. Расчетная электрическая нагрузка узла составит 1,32 кВт, средняя нагрузка – 0,31 кВт. Номинальная мощность инвертора – 2 кВт. Ёмкость АКБ – 3х75 А·ч. Мощность солнечных панелей – 1,2 кВт. Контроллер заряда – 30А MPPT. Мощность резервного источника питания – трансформатора – 100 кВА.

Проведем расчет нормального электрического режима при работе системы от собственных источников энергии. Расчет произведем в программно-вычислительном комплексе RastrWin3. В качестве результатов расчета проведем анализ уровня напряжений в узлах нагрузки, токовую загрузку и потери мощности в ветвях.

На рисунке 1 представлена схема сети с отображенным градиентом токовой загрузки ветвей для нормального режима при потреблении из собственных источников энергии.

Далее был произведен расчет режима N-1. В данном расчете производилось отключение наиболее загруженной ветви «РУ НН – Коттедж 31». В результате максимальная токовая загрузка ветви составила 9,33%. При этом наибольшее отклонение напряжения в узле нагрузки оказалось равным -1,9%.

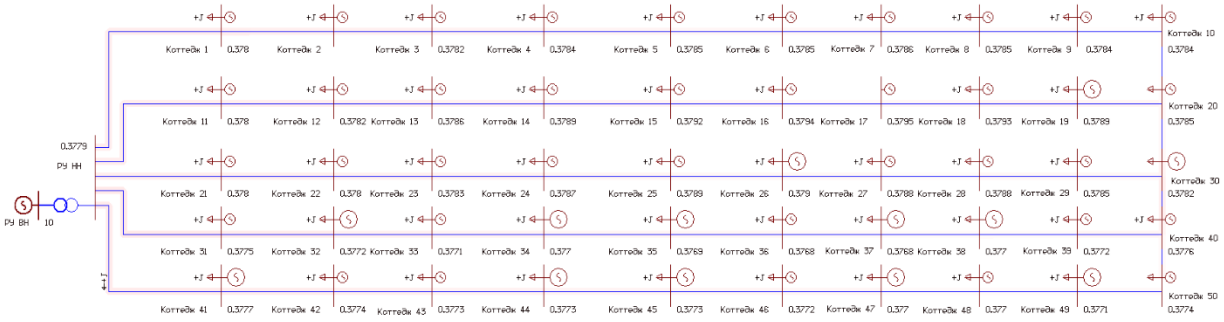


Рис. 1. Градиент токовой загрузки ветвей для нормального режима при потреблении из собственных источников энергии

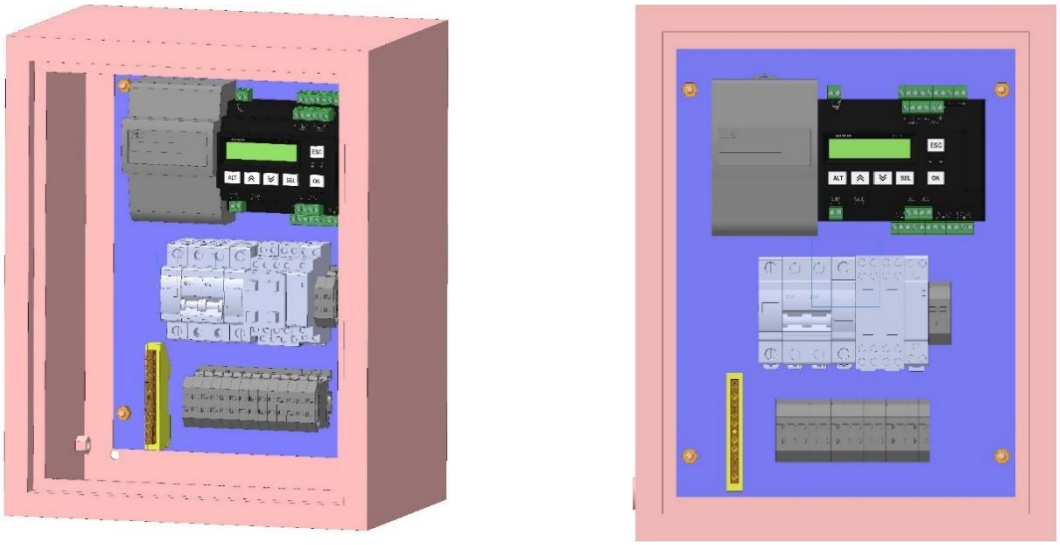
Суммарные потери активной мощности составили 0,15449 кВт.

Результаты проведенных расчетов параметров режима при потреблении из собственных источников энергии показали, следующее:

- Значения установившегося отклонения напряжения (положительные и отрицательные) не превышают допустимых значений (+/- 10 %) по [8];
- Загрузка ветвей по току не превышают длительно-допустимых значений.

Разработка прототипа системы

В 2018 году на реализацию данной работы было получено финансирование от Фонда содействия инновациям в рамках программы «Умник». На данное финансирование был реализован прототип системы автоматизированного управления режимом изолированной энергосистемы с распределённой генерацией. Прототип содержит один главный энергетический модуль, устанавливаемый в месте расположения резерва и два ведомых энергомодуля пользователя системы. Главный энергетический модуль (Рис. 2) включает в себя главным образом ведущий логический контроллер и выполняет функции автоматического ввода резерва.



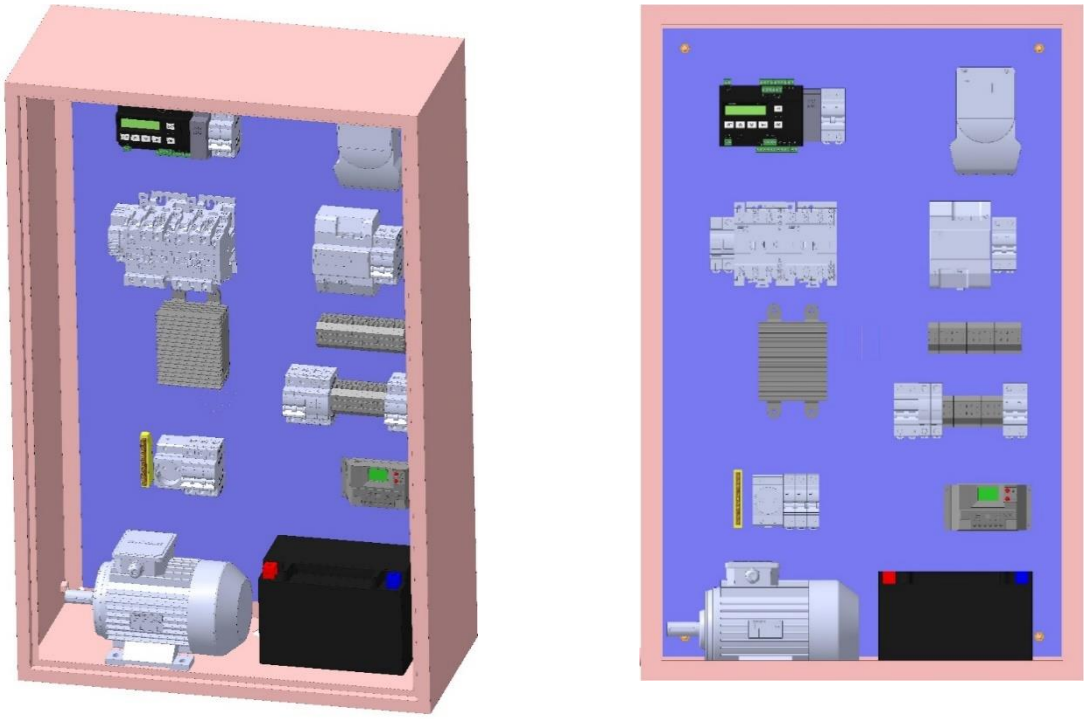
а б

Рис. 2. Главный энергетический модуль (а – общий вид, б – вид спереди)

Энергетический модуль пользователя содержит комплект солнечной электростанции, оборудование промышленной автоматики, коммутационные и защитные аппараты, а также демонстрационную электрическую нагрузку. Оборудование энергомодуля пользователя располагается в шкафу (Рис. 3), однако инвертор и солнечная панель расположены за его пределами. Автоматика ведомого энергомодуля реализует контроль заряда системы накопления электроэнергии пользователя, а также осуществляет переключения между счетчиками, обеспечивая раздельный учет электроэнергии, произведенной внутри и вне изолированной системы.

Выводы

- Использование распределённой генерации в малых изолированных энергосистемах является экономически оправданным: срок окупаемости устройств распределённой генерации значительно меньше срока их эксплуатации.
- Увеличения числа участников микрогрида приводит к значительному снижению установленной мощности генерации, и, следовательно, её стоимости.
- Для организации взаиморасчётов между собственниками объектов малой генерации в микрогриде возможно применение технологии самоисполняемых контрактов.
- Рассматриваемая система взаиморасчётов хорошо масштабируется и может быть применена не только в рамках микрогрида, но и при объединении нескольких микрогридов в единую сеть.



а б

Рис. 3. Ведомый энергетический модуль (а – общий вид, б – вид спереди)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *G. W. Arnold*, «Challenges and opportunities in smart grid: a position article» Proceedings of the IEEE, vol. 99, no. 6, pp. 922–927, 2011.

2. *C. Block, D. Neumann, C. Weinhardt* «A Market Mechanism for Energy Allocation in Micro-CHP Grids» Proceedings of the 41st Hawaii International Conference on System Sciences – 2008, pp. 1-11.

3. *J. Pascual, J. Barricarte, P. Sanchis, L. Marroyo* «Energy management strategy for a renewable-based residential microgrid with generation and demand forecasting», Applied Energy 158 (2015) 12–25.

4. *Солдусова Е.О., Проничев А.В., Шишков Е.М*. Разработка алгоритма управления режимом изолированной энергосистемы // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: материалы докладов XII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2017. – С. 430-434.

ASPECTS OF THE TECHNICAL APPLICATION OF THE ALGORITHM AUTOMATED MODE CONTROL SYSTEMS

Pronichev A., Soldusova E.

teyoma@bk.ru

Supervisor: E. Shishkov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

(*Samara State Technical University, Samara*)

Mathematical modeling and calculation of the electric modes of the micro grid were performed in the RastrWin3 software package to account for losses in the electric power system. Programs were written for the programmable relay ARIES in the OWEN Logic environment, which implement automated control of the microgrid mode.

УДК 625

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ХВОСТОВОГО ВИНТА ВЕРТОЛЕТА

Рыбушкин Н.А.
nikolay_rybushkin@mail.ru
Научный руководитель: А.Ю. Афанасьев, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной работе произведён анализ силовой установки современного вертолета, рассмотрена её структурная схема. Проведен анализ технической и патентной литературы по приводу хвостового винта вертолета, в ходе которого выделены основные виды приводов хвостового винта и подобран оптимальный вариант для дальнейших исследований, разработана его функциональная схема.

Вертолеты одновинтовой системы с рулевым винтом широко применяются в различных сферах народного хозяйства, транспорта и обороны. Рулевой винт вертолёта – воздушный винт, предназначенный для компенсации реактивного момента и управления по курсу (рыскание). Вращающийся несущий винт стремится раскрутить фюзеляж вертолёта в обратном направлении – для устранения данного явления и предназначен установленный вертикально на хвостовой балке рулевой винт. Привод вращения рулевого винта осуществляется посредством карданных валов от редуктора несущего винта к редуктору рулевого винта, через промежуточный редуктор; управление шагом винта осуществляется педалями в кабине лётчика.

С точки зрения живучести, отказ рулевого винта или повреждение его трансмиссии часто приводят к неуправляемому падению вертолёта.

На сегодняшний день, на вертолетах с рулевым винтом, передача крутящего момента от главного редуктора к рулевому винту происходит через хвостовой вал и хвостовой редуктор. Даная система имеет свои недостатки: вес, надежность, цена. Поэтому актуальным является вопрос замены существующего привода на другой, обладающий лучшими характеристиками.

Рассмотрим существующую систему управления вертолетом на примере вертолета Ансат. «Ансат» (тат. несложный, простой) — лёгкий двухдвигательный газотурбинный многоцелевой вертолёт класса 7—9 мест, разработан Конструкторским бюро при ПАО «Казанский вертолётный завод» (КВЗ) по одновинтовой схеме с рулевым винтом.

Структурная схема СУ приведена на Рис. 1

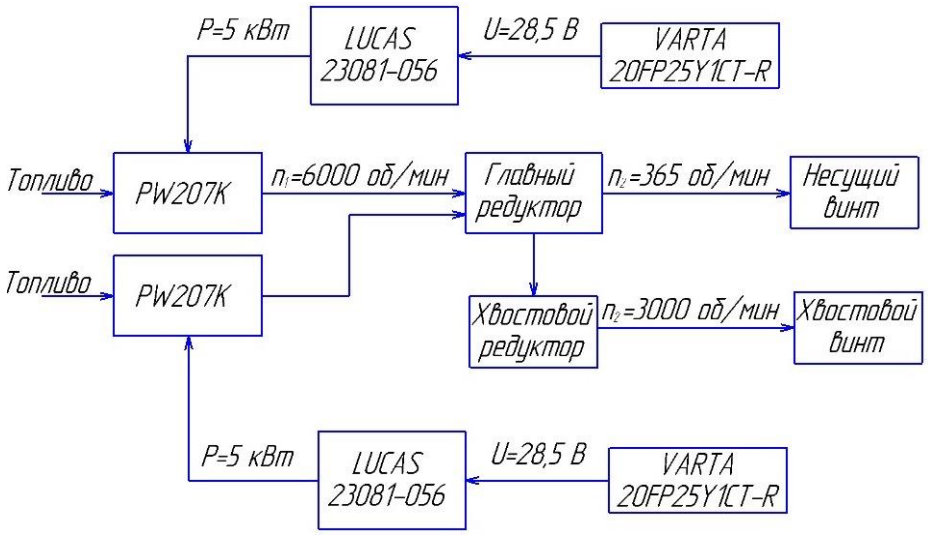


Рис. 1. Упрощённая структурная схема СУ «Ансат»

Принцип работы следующий. Генератор-стартёр LUCAS 23081-056 приводят во

вращение от аккумуляторной батареи VARTA 20FP25H1CT-R, установленной на борту вертолёта. LUCAS 23081-056 приводит во вращение турбину компрессора турбовального двигателя PW207K. При достижении частоты вращения ротора турбокомпрессора в 55-65% (режим малого газа) LUCAS 23081-056 переключается в генераторный режим и начинает подавать энергию на потребителей постоянного напряжения вертолёта. Свободная турбина PW207K приводит во вращения редуктор, с которого преобразованная величина подаётся на вал несущего винта и через хвостовой редуктор на хвостовой винт.

Важным для представленной работы является анализ приводной части системы, которая состоит из главного редуктора ВР 23А, хвостового редуктора

Главный редуктор ВР-23А (рис. 2) предназначен для передачи мощности от двух ТВД к несущему и рулевому винтам и вертолётным агрегатам с соответствующим изменением частоты вращения и крутящего момента, а также для передачи аэродинамических сил с вала несущего винта через корпус главного редуктора и его подредукторную раму на фюзеляж вертолёта. Основные технические характеристики приведены в Таблице 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики ВР-23А

№	Параметр	Значение
1.	Номинальная частота вращения входных валов, об/мин	6000
2.	Максимальная передаваемая мощность, л.с.	2×630
3.	Частота вращения вала несущего винта, об/мин	365,4
4.	Процент мощности, потребляемый несущим винтом, %	80
5.	Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	1300×1000×1400
6.	Масса сухая, кг	255

Хвостовой редуктор ХР-23 предназначен для понижения числа оборотов, передаваемых к рулевому винту от главного редуктора. Кроме того, хвостовой редуктор обеспечивает изменение направления передачи мощности от концевого вала к рулевому винту и имеет механизм управления шагом рулевого винта.



Рис. 2. Главный и хвостовой редуктор с приводным валом

Таблица 2

Основные технические характеристики ХР-23

№	Параметр	Значение
1.	Номинальная частота вращения выходного вала, об/мин	3000
2.	Максимальная передаваемая мощность, л.с.	140
3.	Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	370×700×190
4.	Масса сухая с приводным валом, кг	25

В ходе анализа патентной и научно-технической литературы были выбраны наиболее продуманные технически и уникальные в своём роде варианты:

1. Вертолёт FC-X с системой NOTAR (Американская компания Bell Helicopter)

В системе NOTAR (NO TAil Rotor, без рулевого винта) основным двигателем вертолета приводится в движение вентилятор, установленный в хвостовой части фюзеляжа. В полете вентилятор нагнетает давление в воздуховоде. Часть этого давления сбрасывается через специальные сопла, создавая воздушный поток, противоположный вращению несущего винта вертолета. Излишки давления стравливаются через клапан на конце хвостовой балки. Сегодня такая система применяется на американских вертолетах MD 520N, MD 600N и MD Explorer.

2. Вертолетный хвостовой винт с переменной скоростью с гидростатическим приводом (Патент RU 2445235 C2 от 20.03.2012)

Гидравлическая система привода хвостового винта включает в себя гидромотор постоянной производительности, который непосредственно приводит в движение винт, гидравлический насос переменной производительности, приводимый в движение посредством вала несущего винта вертолета, рычаг управления для того, чтобы варьировать объемную производительность гидравлического насоса, и гидравлические соединительные трубы между насосом и мотором. Хвостовой винт состоит из трех бесшарнирных лопастей с фиксированным шагом. Рычаг управления соединен с педалями управления в кабине вертолета. Направление и величина тяги хвостового винта изменяются путем регулирования направления и скорости вращения винта рычагом управления посредством варьирования скорости жидкости и реверсирования потока жидкости, проходящей через гидромотор. Гидравлическая система оснащена также дренажными трубами, маслобаком, масляным фильтром, радиатором, загрузочным насосом. В случае отказа двигателя хвостовой винт приводится в движение за счет авторотации несущего винта, при этом органы управления остаются активными. Такой вариант привода позволяет существенно упростить конструкцию летательного аппарата и повысить его надежность.

3. Компенсация крутящего момента для вертолета (Патент RU 2568529 C2 от 20.11.2015, Компания Siemens)

Согласно изобретению, компенсация крутящего момента вызывается не предусмотренным на хвостовой консоли вертолета хвостовым винтом, а с помощью диаметрального вентилятора. Он отличается, например, от хвостового винта в виде пропеллера тем, что создаваемый нагнетателем воздушный поток проходит поперек, в частности перпендикулярно, оси вращения нагнетателя. В соответствии с этим, создаваемая воздушным потоком тяга ориентирована поперек оси вращения нагнетателя. В противоположность этому, несущий винт создает воздушный поток, параллельный оси вращения, соответственно, осевую тягу.

Было проанализировано 30 патентов российских и зарубежных авторов. Результаты представлены на рис. 3. Можно выделить следующие основные виды приводов:

1) Механический привод от главного редуктора;
2) Гидростатический привод;
3) Электрический привод.

Мною был выбран электрический привод для рулевого винта вертолёта. Преимуществами данного варианта являются уменьшение уровня шума, лёгкость в управлении и значительное уменьшение массы привода рулевого винта за счёт замены приводного вала от главного редуктора на жгут от генераторов переменного тока.

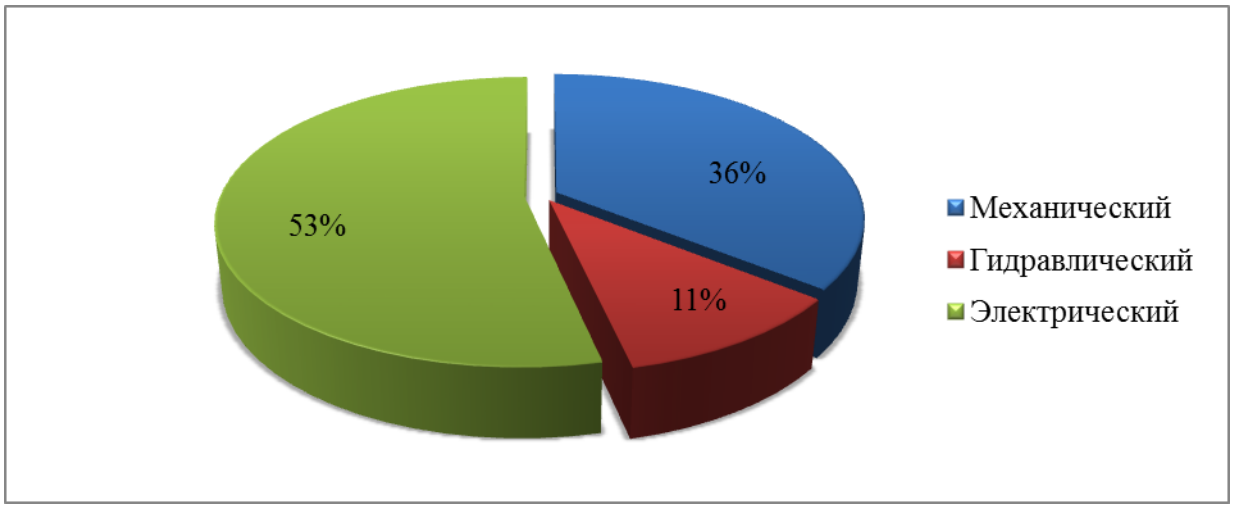


Рис. 3. Статистика по опубликованным патентам по приводу хвостового винта вертолета

Принцип работы электропривода рассмотрим на функциональной схеме (Рис. 4). При запуске ТВД во вращение приводятся генераторы, которые вырабатывают трёхфазную систему напряжений. Выпрямители преобразует переменное напряжение в постоянное и подают его на конверторы, где величина напряжения повышается и стабилизируется для подачи на преобразователь частоты.

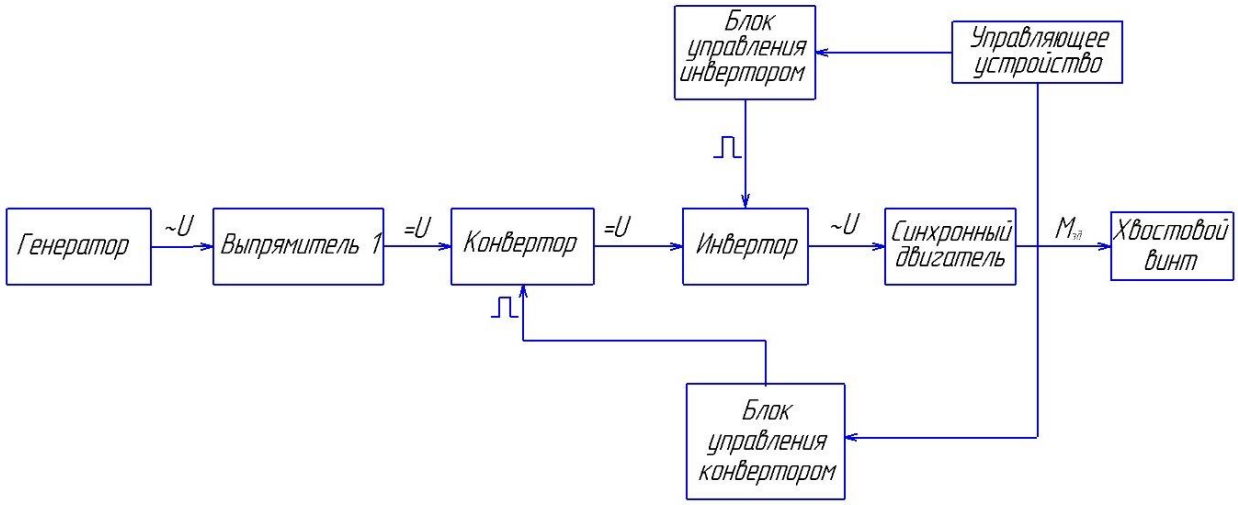


Рис. 4. Функциональная схема электропривода

Преобразователь частоты формирует трёхфазную систему напряжений необходимой частоты и амплитуды на обмотку синхронного электродвигателя, приводя его во вращение. Встроенный в конструкцию синхронного электродвигателя магнитный редуктор преобразует частоту вращения до необходимой для хвостового винта.

Управляющее устройство служит для формирования необходимого уровня напряжений на конверторах и регулирования работы ПЧ по напряжению и частоте.

Полученные результаты позволяют вести дальнейшую работу по подбору и расчёту элементов и моделирование электропривода с целью его анализа и дальнейшей оптимизации его основных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Соколовский Г.Г.* Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений/Г.Г. Соколовский. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 272 с.;

2. Системы электрооборудования летательных аппаратов: учебное пособие / В. С. Терещук, В. Г. Новосельский, Н. Ш. Шакирзянова. - Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2017. - 374; ISBN 978-5-7579-2212-6.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING THE ELECTRIC DRIVE OF THE TAIL SCREW OF THE HELICOPTER

Rybushkin N.
nikolay_rybushkin@mail.ru
Supervisor: A. Afanasyev, Doctor of Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

In this paper, the analysis of the power plant of a modern helicopter is made, its structural scheme is considered. The analysis of technical and patent literature on the tail rotor drive of the helicopter was conducted, during which the main types of tail rotor drives were identified and the best option was selected for further research, its functional diagram was developed.

УДК 620.97

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Рыжов Б.А.
bogdan110196@gmail.com
Научный руководитель: Р.Г. Исаков, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной статье рассматривается возможность участия электромобилей в электроэнергетической сети не только как потребителя электроэнергии, но и как полезный элемент сети, позволяющий накапливать электроэнергию.

В современных условиях электроэнергетики достаточно остро стоит вопрос о системах накопления электроэнергии. Данные системы нужны для того, чтобы снизить нагрузку на электростанции во время пиковых нагрузок, то есть накопители должны брать на себя часть потребителей и снабжать их электроэнергией.

В данном вопросе могут помочь электромобили, содержащие в своей конструкции аккумуляторные батареи. Владельцы автомобилей могут использовать как общественные зарядные станции, так и частные, что позволяет владельцам быть достаточно мобильными в выборе маршрута передвижения.

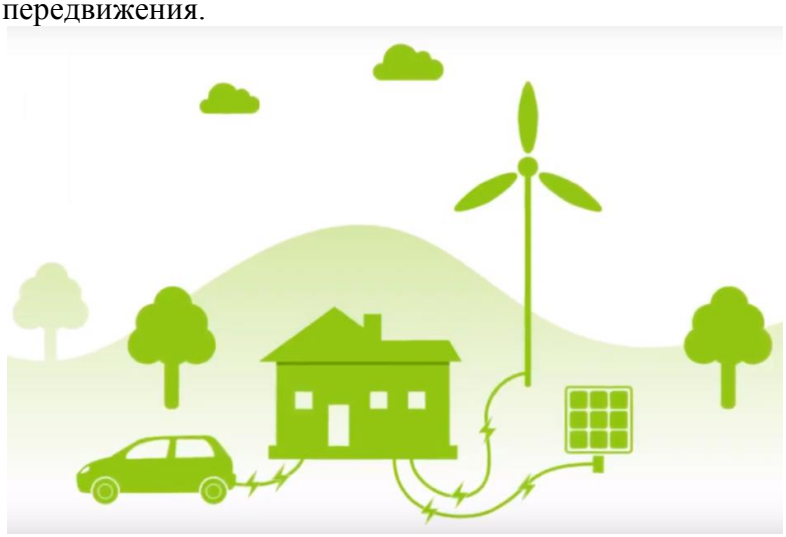


Рис. 1. Пример включения электромобиля как накопителя электроэнергии в распределительную сеть

По своей сути электромобили могут выступать в виде накопителя электроэнергии в ночное время, когда образуется существенная просадка нагрузки и избыток энергии из сети необходимо куда-то запасать. Электромобиль может также накапливать энергию с генераторов во время простоя производства, чтобы при возможной перегрузке отдать часть накопленной энергии. Например, это может быть полезно в нефтегазовой промышленности, поскольку, чтобы обеспечивать электричеством нефтегазовое месторождение в обычном режиме, нужно некоторое количество газопоршневых генераторов. Но, когда начинается процесс бурения скважины, потребление энергии начинает резко изменяться, генераторы не справляются с этой изменяющейся мощностью, и у них происходит аварийное отключение. Поэтому сейчас на подобных объектах держат так называемый "горячий резерв", то есть еще некоторое количество генераторов все время работают вхолостую. С применением накопителей, в том числе и в виде электромобилей, эти резервные генераторы могут быть не нужны, поэтому можно добиться существенной экономии. [1]

Применение данной технологии уже было опробовано в Германии в городе Хаген. Здесь электромобили Nissan Leaf с возможностью не только потреблять энергию из сети, но и выдавать ее при потребности. Так в Германии пробуют интегрировать электромобили в качестве регулирующего резерва электросети.

Чтобы удовлетворить всеобщее стремление перейти к децентрализованному производству энергии из возобновляемых источников необходимы новые и инновационные решения для стабилизации электросетей. Увеличивающееся использование возобновляемой энергии приводит к колебаниям в сети, которые должны быть уравновешены первичным регулированием, способным предотвратить надвигающиеся отключения электричества. Электромобили, такие как Nissan Leaf, с интегрированной технологией двунаправленной зарядки, могут сыграть в этом важную роль. [2]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Специалисты в Новосибирске испытали первый российский накопитель энергии для нефтедобычи. Электронный ресурс. Режим доступа: https://tass.ru/sibir-news/6533638?utm_source=telegram.me&utm_medium=social&utm_campaign=mdtrueodnoy-iz-ekonomicheski-obosnovann

2. Mobile power stations on the way - with the use of electric car Nissan Leaf to stabilise the German electricity grid. Электронный ресурс. Режим доступа: https://www.mobilityhouse.com/int_en/magazine/press-releases/v2g-hagen-electric-car-stabilise-electricity-grid.html/

THE USE OF ELECTRIC VEHICLES AS THE STORAGE OF ELECTRICAL ENERGY

Ryzhov B.

bogdan110196@gmail.com

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

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

This article contains information about the possibility of participation of electric vehicles in the electricity network, not only as a consumer of electricity, but also as a useful network element that allows you to accumulate electricity.

УДК 621.313

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Саяхов И.Ф.

isayakhov92@mail.ru

Научный руководитель: Ф.Р. Исмагилов, д-р техн. наук, профессор

(Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа)

В данной работе представлены результаты испытаний вентильного электродвигателя постоянного тока с пиковой выходной мощностью 3,35 кВт для электромеханического рулевого привода. Представлены экспериментальные исследования номинальных параметров, статической устойчивости и нагрева. В ходе испытаний были получены значения крутящего момента, максимальной статической нагрузки и температуры обмотки статора. Механическая характеристика полученная во время испытаний, имеет хорошую сходимость с моделированием в Ansys и отличается не более чем на 10%. Тепловые испытания показали эффективность использованной конструктивной схемы. Измерение остаточной намагниченности постоянных магнитов, проведенное после испытаний, подтверждает работоспособность вентильного электродвигателя.

Электромеханические системы находят все более широкое применение в бортовых компонентах летательных аппаратов. При этом необходимо обеспечить высокую надежность, эффективность, малые габариты и массу. Исследования последних десятилетий показывают значительный прогресс в применении электромеханических приводов в системе управления летательных аппаратов [1-7]. Новые достижения в области высокоэффективных магнитных материалов, минимизация и повышение производительности электронных компонентов позволяют электромеханическим системам выйти на более высокий уровень. Одним из перспективных направлений в создании электромеханических приводов для систем управления летательных аппаратов является применение конструкции привода прямого действия. В данном техническом решении отсутствует промежуточная передача между электрическим двигателем и выходной передачей. При этом за счет уменьшения количества подвижных деталей повышается надежность, снижается масса и габариты электромеханического привода, а также повышается быстродействие благодаря снижению момента инерции. Однако отказ от использования промежуточной передачи требует создания электрических двигателей с высоким крутящим моментом [8-11] для обеспечения требуемых усилий и статической устойчивости на объекте управления. Целью данной статьи являются экспериментальные исследования номинальных параметров, статической устойчивости и нагрева вентильного электродвигателя для применения в системе управления летательных аппаратов.

Объектом экспериментальных исследований является вентильный электродвигатель пиковой выходной мощностью 3,35 кВт и частотой вращения 800 об/мин [12] (далее – ВЭД). Данный ВЭД спроектирован для работы в составе безредукторного электромеханического привода рулевых приводов летательных аппаратов. Охлаждение ВЭД осуществляется естественным теплообменом. Поэтому исследуемый ВЭД рассчитан на работу повторно-кратковременном режиме S3 5% по ГОСТ Р 52776-2007. В конструкции эксперименатального образца ВЭД для измерения температур предусмотрены термопары в активной части обмотки статора. Напряжение питания ВЭД составляет 270 В постоянного тока. В таблице 1 приведены параметры экспериментального образца ВЭД.

Таблица 1

Параметры экспериментального образца ВЭД

Параметры	Значение
Статор	
Число пазов	12
Внешний диаметр, мм	120
Внутренний диаметр, мм	80
Активная длина статора, мм	70
Марка стали	2214
Число фаз	3
Число параллельных ветвей	1
Число слоев	2
Число проводников в пазу	110
Шаг обмотки	1
Диаметр проводника, мм	0,63
Площадь паза, $мм^2$	181
Коэффициент заполнения паза, %	48
Обмоточный коэффициент	0,866
Ротор	
Длина воздушного зазора, мм	2
Внешний диаметр ротора по магнитам, мм	76
Внутренний диаметр, мм	40
Активная длина ротора, мм	70
Марка стали	Ст3
Коэффициент заполнения полюса магнитами	0,77
Число полюсов, 2p	8
Марка магнитов	SmCo
Высота магнитов, мм	10
Момент инерции ротора, $кг \cdot м^2$	0,00178833

На рисунке 1 представлен экспериментальный образец ВЭД.



Рис. 1. Экспериментальный образец ВЭД

На рисунке 2 представлена экспериментальная установка.



Рис. 2. Экспериментальная установка

При проверке номинальных параметров величина и длительность нагрузки ВЭД соответствовали повторно-кратковременному режиму работы S3 5%. Циклограмма нагружения ВЭД в повторно-кратковременном режиме приведена на рис. 3. В начальный момент времени температура обмоток статора в активной части и инвертора составляла 21 °С.

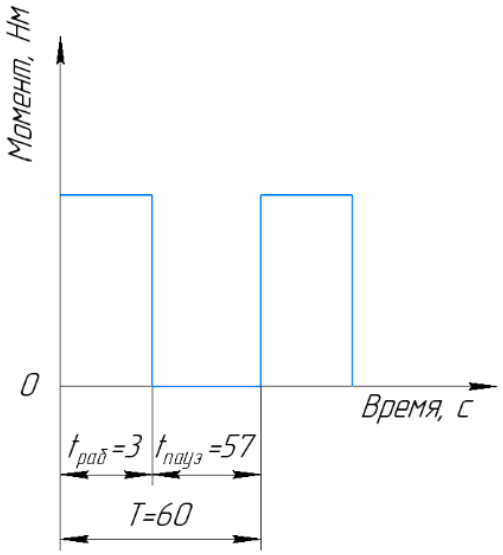


Рис. 3. Циклограмма нагружения ВЭД в повторно-кратковременном режиме:
tраб – время работы под нагрузкой; tпауз – время остановки и отключения питания;
Т – время одного цикла нагружения

На рисунке 4 представлена экспериментальная механическая характеристика, а также приведено сравнение с моделированием в Ansys.

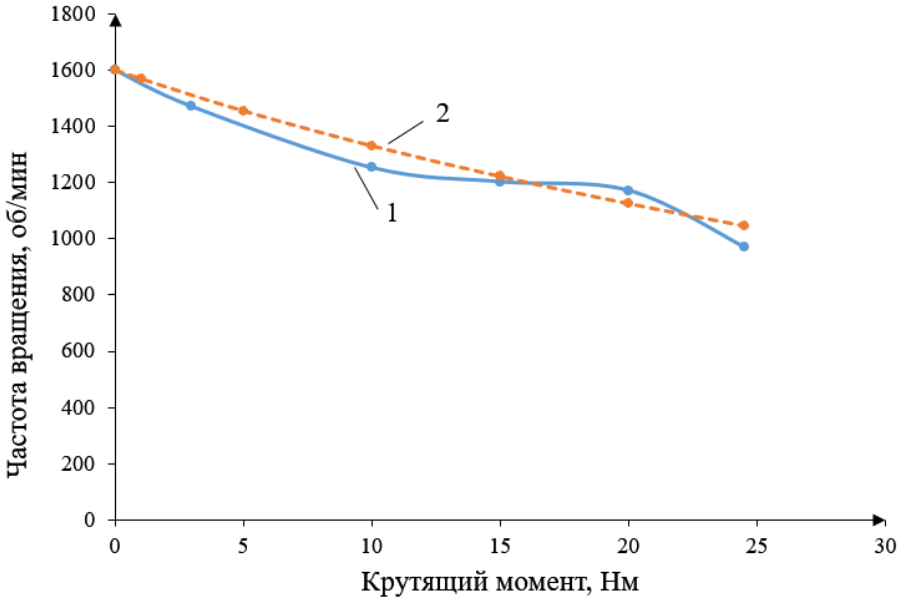


Рис. 4. Механическая характеристика:
1 – экспериментальные значения; 2 – моделирование в Ansys

Из рисунка 4 видно, что значения механических характеристик отличаются не более чем на 10%. По результатам эксперимента при значении крутящего момента 24,5 Нм и частоте вращения 970 об/мин температура обмоток статора в активной части составляла 51 ºС, а температура инвертора 40 ºС.

Для проверки статической устойчивости при заданном положении ротора ВЭД проводилось плавное увеличение статического момента нагрузки на валу, при этом измерялась величина потребляемого тока в фазе статора. В начальный момент времени температура обмоток статора в активной части составляла 25 °С. На рисунке 5 представлена кривая зависимости момента нагрузки на валу от величины силы тока в фазе статора при заданном положении ротора ВЭД.

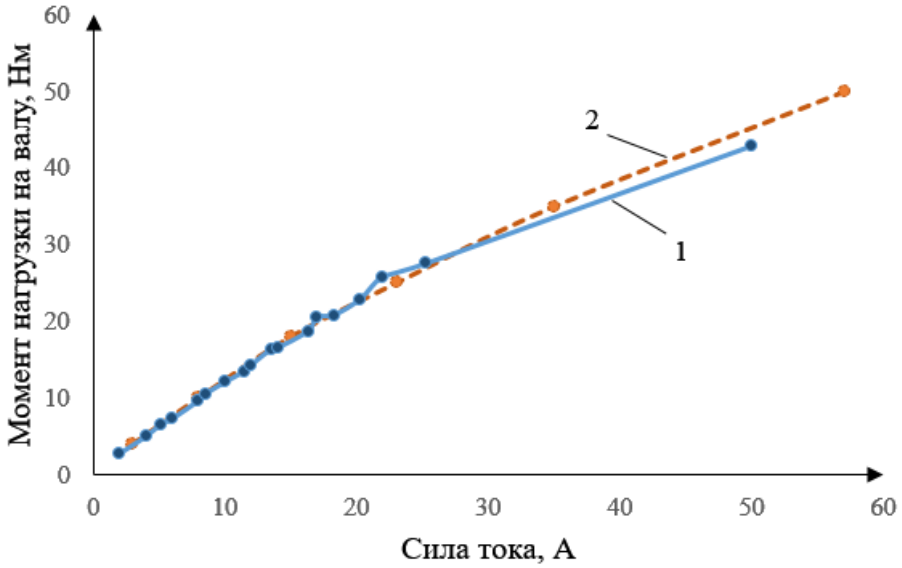


Рис. 5. Кривая экспериментальных значений зависимости момента нагрузки
на валу от величины силы тока в фазе статора при заданном положении ротора ВЭД:
1 – экспериментальные значения; 2 – моделирование в Ansys

При силе тока 50 А и моменте нагрузки на валу 42,75 Нм температура обмотки статора в активной части составила 164 С.

Определение нагрева обмотки статора в длительном режиме работы S1 проводилось при

температуре окружающего воздуха плюс 20 °С. Измерение температуры обмотки статора в активной части проводилось при фиксированном значении крутящего момента и силы тока в фазе. На рисунке 6 представлены кривые экспериментальных значений температуры обмотки статора в активной части в длительном режиме.

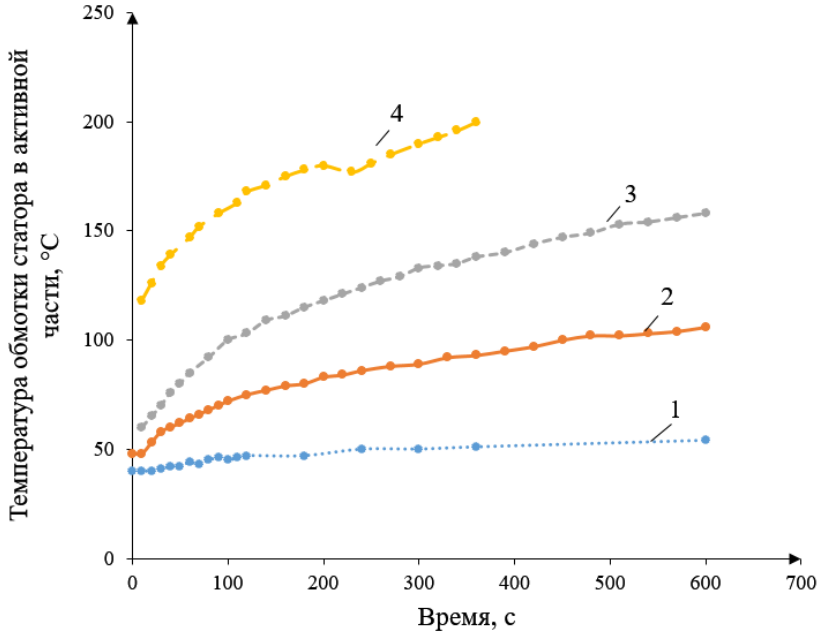


Рис. 6. Кривые экспериментальных значений температуры обмотки статора в активной части в длительном режиме: 1 – крутящий момент 5 Нм; 2 – крутящий момент 10 Нм; 3 – крутящий момент 12,5 Нм; 4 – крутящий момент 15 Нм

Как видно из рисунка 6 исследуемый ВЭД может работать также при длительных нагрузках не требуя дополнительной системы охлаждения. Следует отметить, что испытания были прекращены при достижении температуры обмотки статора в активной части 220 С. Так как данное значение температуры является предельной для материала обмотки статора.

Измеренная остаточная намагниченность постоянных магнитов на полюсе ротора после проведения испытаний не изменилась и составляет 0,4 Тл.

Проведенные испытания а вентильного электродвигателя для безредукторного электромеханического рулевого привода показали следующие результаты: крутящий момент 24,5 Нм при температуре обмотки статора в активной части 51 °С, максимальный статический момент при заданном положении ротора 42,75 Нм и температуры обмотки статора в активной части 164 °С. Испытания на нагрев показали, возможность эксплуатации данного ВЭД при более продолжительных режимах работы.

Полученная при испытаниях зависимость крутящего момента от частоты вращения имеет хорошую сходимость с расчетами в Ansys, и отличаются не более чем на 10%. Измерение сопротивления обмоток статора, измерение остаточной намагниченности постоянных магнитов, проведенные после испытаний, подтверждают работоспособность ВЭД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Boggero L., Fioriti M., Corpino S., Ciampa P. D.* On-Board Systems Preliminary Sizing in an Overall Aircraft Design Environment // 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2017.

2. *Vanhuyse J., Murgovski N., Nicolai M., Van der Auweraer H., Desmet W.* Closed-Loop Design for Hybrid Powertrains // Volume 3: 19th International Conference on Advanced Vehicle Technologies; 14th International Conference on Design Education; 10th Frontiers in Biomedical Devices. ASME, 2017. P. V003T01A024.

3. *Menu J., Nicolai M., Zeller M.* Designing Fail-Safe Architectures for Aircraft Electrical Power Systems // 2018 AIAA/IEEE Electric Aircraft Technologies Symposium. Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2018.

4. *Chao Q., Zhang J., Xu B., Shang Y., Jiao Z., Li Z.* Load-Sensing Pump Design to Reduce Heat Generation of Electro-Hydrostatic Actuator Systems // Energies. 2018. Vol. 11, № 9. P. 2266.

5. *Jodin G., Tekap Y. B., Saucray J. M., Rouchon J. F., Triantafyllou M., Braza M.* Optimized design of real-scale A320 morphing high-lift flap with shape memory alloys and innovative skin // Smart Mater. Struct. 2018. Vol. 27, № 11. P. 115005.

6. *Geismann J., Pohlmann U., Schmelter D.* Towards an Automated Synthesis of a Real-time Scheduling for Cyber-physical Multi-core Systems // Proceedings of the 5th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development. SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2017. P. 285–292.

7. *Qiao G., Liu G., Shi Z., Wang Y., Ma S., Lim T. C.* A review of electromechanical actuators for More/All Electric aircraft systems // Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci. 2018. Vol. 232, № 22. P. 4128–4151.

8. *Li J., Yu Z., Huang Y., Li Z.* A review of electromechanical actuation system for more electric aircraft // 2016 IEEE International Conference on Aircraft Utility Systems (AUS). IEEE, 2016. P. 490–497.

9. *Bilyi V., Gerling D.* Design of high-efficiency interior permanent magnet synchronous machine with stator flux barriers and single-layer concentrated windings // 2015 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC). IEEE, 2015. P. 1177–1183.

10. *Giangrande P., Madonna V., Sala G., Kladas A., Gerada C., Galea M.* Design and Testing of PMSM for Aerospace EMA Applications // IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IEEE, 2018. P. 2038–2043.

11. *Kefalas T.D., Kladas A.G.* Thermal Investigation of Permanent-Magnet Synchronous Motor for Aerospace Applications // IEEE Trans. Ind. Electron. 2014. Vol. 61, № 8. P. 4404–4411.

12. *Ismagilov F.R., Vavilov V.E., Sayakhov I.F.* High-Torque Motor for a Gearless Electromechanical Actuator // 2019 26th International Workshop on Electric Drives: Improvement in Efficiency of Electric Drives (IWED). IEEE, 2019. P. 1–5.

EXPERIMENTAL STUDY OF A BLDC MOTOR FOR AEROSPACE APPLICATION

Sayakhov I.

isayakhov92@mail.ru

Supervisor: F. Ismagilov, Doctor of Technical Sciences, Professor

(Ufa State Aviation Technical University, Ufa)

This paper presents the test results of a BLDC motor with a peak output power of 3.35 kW for an electromechanical steering gear. Experimental studies of nominal parameters, static stability and heating are presented. During the tests, the values of torque, maximum static load and temperature of the stator winding were obtained. The mechanical characteristic obtained during the tests has good convergence with modeling in Ansys and differs by no more than 10%. Thermal tests showed the effectiveness of the used design. The measurement of the residual magnetization of the permanent magnets, carried out after the tests, confirms the efficiency of the BLDC motor.

УДК 621.316.925.1

СИСТЕМА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6-10 КВ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

Смирнов П.В.
pavlik_smi@mail.ru
Научный руководитель: Р.Г. Исаков, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной статье освещена проблема системы релейной защиты в распределительных сетях 6-10 кВ с распределенной генерацией, которая заключается в невозможности использования защит, используемых в тех же сетях без распределенной генерации; также приведен обзор защит и требований, предъявляемых к ним, и на примере рассмотрено составление системы релейной защиты при наличии распределенной генерации.

Мировые тенденции развития электроэнергетики многих развитых стран характеризуется интенсивным ростом объёмов возобновляемых источников энергии и, в целом, объектов распределенной генерации. Объекты всё более масштабно начинают работать в составе энергетических систем, практически на всех классах напряжения, и оказывать нарастающее влияние на режимы работы энергосистем в целом, а также функционирование соответствующих рынков энергии и мощности.

Релейная защита и автоматика является неотъемлемой частью любых сетей; частью, без которой функционирование электросистем сильно затрудняется, иногда и вовсе становится невозможной. При присоединении объектов распределенной генерации имеющаяся релейная защита в сетях становиться неэффективной или может начать работать во вред, срабатывая даже при нормальном режиме.

Распределительные электрические сети напряжением 6-10 кВ, как правило, имеют радиальную структуру с односторонним питанием сетевых элементов или работают в разомкнутом режиме. На линиях электропередачи должны предусматриваться защиты от междуфазных коротких замыканий (выполненные обычно в двухфазном двухрелейном исполнении) и защиты от однофазных замыканий на землю с действием «на сигнал». От междуфазных коротких замыканий, как правило, устанавливается максимальная токовая защита. На кабельных линиях, подключенных к шинам центра питания, дополнительно к максимальной токовой защите может также предусматриваться токовая отсечка для обеспечения термической стойкости кабелей [1].

К релейной защите предъявляются следующие требования:

– селективность;
– быстродействие;
– чувствительность;
– надежность.

Селективность характеризует способность релейной защиты отключать только неисправный участок электрической цепи, не затрагивая исправные части.

Также отдельно выделяют понятие логической селективности, которая определяет наличие центрального логического устройства (микроконтроллера). Понятие логической селективности очень актуально для сложных сетей, где классические методы определения неисправного участка цепи не работают. Основная идея заключается в вычислении центральным логическим устройством положения неисправности за счёт опроса датчиков, расположенных на ключевых точках цепи, в режиме реального времени.

Быстродействие характеризует способность релейной защиты отключать неисправный участок в течении минимально возможного времени, за которое повреждение не успеет перекинуться на другие части.

Чувствительность характеризует способность релейной защиты определять ненормальный режим работы сети даже при малейшем его проявлении.

Надежность характеризует способность релейной защиты срабатывать при ненормальных

режимах работы сети и не срабатывать при нормальных.

Рассмотрим систему релейной защиты на примере схемы рисунка 1.

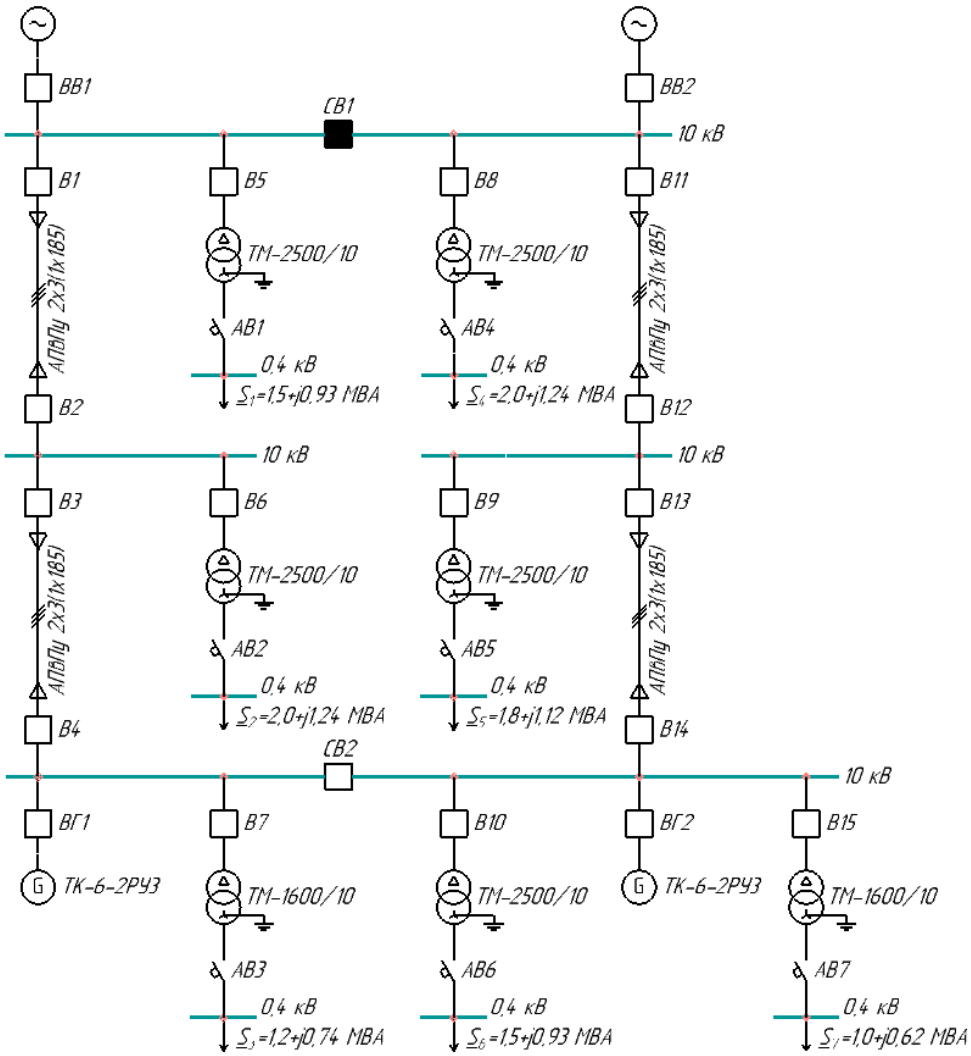


Рис. 1. Схема распределительной сети с распределенной генерацией

В рисунке 1 приняты следующие обозначения: ВВ – вводной выключатель, СВ – секционный выключатель, В – выключатель линии, АВ – автоматический выключатель нагрузки, АПвПу – марка кабеля, ТМ – марка силового трансформатора, ТК – марка турбогенератора, 0,4 кВ и 10 кВ – уровни напряжения шин.

Для турбогенераторов достаточно иметь следующий состав защит: продольная дифференциальная защита, защита от межвитковых замыканий в обмотке статора, защита от внешних коротких замыканий, защита от симметричной перегрузки статора, защита от понижения и повышения напряжения и защита от понижения и повышения частоты.

Для самой распределительной сети предусматривается направленная максимально-токовая защита с логической селективностью.

Токовая отсечка в непротяженных линиях (до 3 км) часто оказывается неэффективной, поскольку ток короткого замыкания в конце линии не снижается в достаточной мере для отстройки, следовательно, данная защита не применима к рассматриваемой схеме.

Вместо классической максимально-токовой защиты применяется защита с логической селективностью по причине того, что распределительная сеть с распределенной генерацией является сложной с точки зрения релейной защиты.

Применив вышеупомянутые утверждения для схемы, представленной на рисунке 1, представим комплекс необходимых защит на рисунке 2.

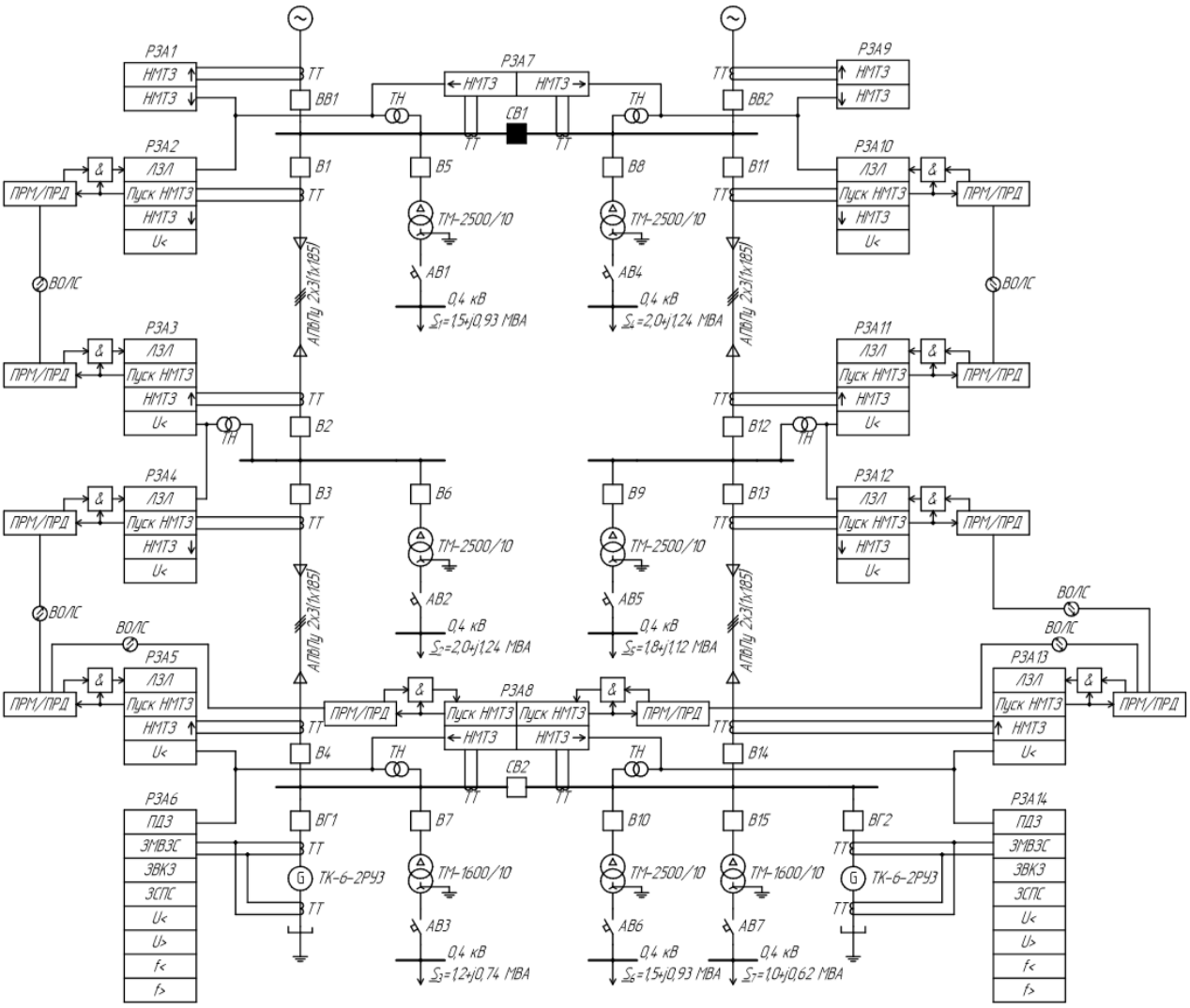


Рис. 2. Схема релейной защиты распределительной сети с распределенной генерацией

В рисунке 2 дополнительно приняты следующие обозначения: РЗА – релейная защита и автоматика, ТТ – трансформатор тока, НМТЗ – направленная максимально-токовая защита, ТН – трансформатор напряжения, ЛЗЛ – логическая защита линии, ПРМ/ПРД – приёмник-передатчик, U< – защита от понижения напряжения, ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи, ПДЗ – продольная дифференциальная защита, ЗМВЗС – защита от межвитковых замыканий статора, ЗВКЗ – защита от внешних коротких замыканий, ЗСПС – защита от симметричных перегрузок статора, U> – защита от повышения напряжения, f< – защита от понижения частоты, f> – защита от повышения частоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Онисова О.А.* Совершенствование релейной защиты электроэнергетических систем с малыми распределёнными электрическими станциями: диссертация // Чебоксары. 2016. С. 186.

RELAY PROTECTION SYSTEM IN 6-10 KV DISTRIBUTIVE NETWORKS WITH DISTRIBUTED GENERATION

Smirnov P.
pavlik_smi@mail.ru
Supervisor: R. Isakov, candidate of technical sciences, docent
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

This article addresses the problem of a relay protection system in distribution networks of 6-10 kV with distributed generation, which is the impossibility of using protections used in the same networks without distributed generation; also an overview of the protection and requirements for them are provided, and for example the design of a relay protection system in the presence of distributed generation is considered.

УДК 621.3:658.2.016.7

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ EPLAN В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Смирнов П.В.
pavlik_smi@mail.ru
Научный руководитель: Г.С. Хайруллина
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной статье приведен обзор программного обеспечения EPLAN и его подсистем, а более подробно его подсистема EPLAN Electric P8; приведен обзор функционала программного обеспечения, за счёт чего оно облегчает и ускоряет работу инженеров в области электротехнического проектирования.

EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG является разработчиком и поставщиком программного обеспечения и глобальных инжиниринговых решений. EPLAN предоставляет следующие подсистемы платформы [1]:

– EPLAN Preplanning – создание проектной документации;

– EPLAN Electric P8 – электротехническое проектирование, создание рабочей документации;

– EPLAN FieldSys – работа с планами трасс;

– EPLAN Fluid – проектирование пневмогидроавтоматики, создание рабочей документации;

– EPLAN Pro Panel – создание виртуального прототипа электрошкафа в 3D и генерация конструкторской и технологической документации для производства шкафов и щитов;

– EPLAN Harness ProD – создание документации для производства жгутовых соединений;

– EPLAN Data Portal – база данных изделий ведущих производителей;

– EPLAN Engineering Configurator – автоматическое создание схем и моделей шкафов.

Программное обеспечение EPLAN позволяет существенно ускорить и упростить разработку проектной, рабочей и конструкторской документации за счет различных инструментов, облегчающих автоматические проверки и автоматическую генерацию документов – кабельных журналов, спецификаций, перечней элементов, таблиц соединений, монтажных схем и др.

EPLAN Electric P8 повышает эффективность работы в области проектирования, документирования и управления проектами автоматизации вне зависимости от того, разрабатывается ли отдельная машина или целые производства. Автоматически создаваемые подробные документы, основанные на электрических схемах, повышают эффективность производства, монтажа, ввода в эксплуатацию и технического обслуживания объекта автоматизации.

С другими разделами проекта можно обмениваться данными через встроенные интерфейсы и, таким образом, гарантировать целостность данных и сквозной,

интегрированный процесс создания конечного продукта.

Платформа EPLAN объединяет все соответствующие дисциплины в едином процессе разработки и проектирования. Сквозное проектирование становится реальностью благодаря развитому функционалу и непосредственной связи между контрольно-измерительными приборами, гидропневмоавтоматикой, электротехникой, шкафами и планами трасс.

Таким образом, EPLAN обеспечивает:

– Ускорение процессов проектирования;

– Повышение качества продукции;

– Неизменно высокое качество документации;

– Значительное сокращение расходов.

EPLAN Data Portal является глобальным веб-сервисом, источником данных о сотнях тысяч изделий многочисленных ведущих производителей компонентов, который обеспечивает интерактивный доступ к коммерческой, технической, процессно-ориентированной информации, а также соответствующим графическим данным в стандартном формате EPLAN. Непосредственно из продуктов платформы EPLAN проектировщик может получить доступ к постоянно растущей базе актуальных данных об изделиях. Это избавляет специалистов от процесса заполнения базы данных изделий, что снижает сроки проектирования, одновременно повышая качество документации.

После внесения в проект данные проекта являются основой для автоматического выпуска документации. Одним нажатием кнопки можно проверить документацию с учетом требований к качеству, которые определяет пользователь, применив всеобъемлющие и индивидуально настраиваемые процедуры проверки проекта. EPLAN поддерживает быстрый просмотр ошибок и внесение изменений в окне управления контрольным прогоном.

В EPLAN возможно создавать отдельные отчеты на любой стадии работы над проектом либо сгенерировать всю документацию автоматически в качестве завершающего шага работы над проектом. Таким образом, создается вся информация, необходимая в дальнейшем для производства, монтажа, ввода в эксплуатацию и технического обслуживания и ремонта объекта автоматизации.

Интеграция с MS Office позволяет редактировать данные проекта в нейтральном формате. Международно-стандартизированный и полностью локализованный EPLAN Electric P8 поддерживает большинство глобальных стандартов, такие как IEC, NFPA, русский ГОСТ и китайский GB.

Все модули Eplan Electric полностью официально русифицированы, адаптированы для российского рынка, и имеют полную поддержку стандартов ГОСТ, СПДС в части символов, форм и рамок для выпускаемой проектной документации.

Все программные продукты платформы EPLAN поддерживают многопользовательский режим работы, когда большое количество пользователей разрабатывают один и тот же большой проект, но разные его разделы. Все происходит в режиме реального времени, и, соответственно, каждый пользователь получает изменения, сделанные другими пользователями, мгновенно. Это дает возможность руководителю работ, подробно следить за ходом его реализации, оценивать время, затрачиваемое на создание полного пакета проектной документации либо отдельных его частей.

Платформа EPLAN позволяет работать как над концептуальным, так и эскизным, и рабочим проектированием, над различными дисциплинами такими как электротехника, пневматика, производственными процессами.

Опираясь на эту платформу, инженеры могут обеспечить непротиворечивость данных между различными инженерами и дисциплинами.

Рассмотрим основной функционал и особенности среды электрического проектирования EPLAN Electric P8. Из всех инструментов особый интерес вызывают:

– Просмотр макросов страницы;

– Импортирование из других форматов и экспортирование в другие форматы, в частности MS Office;

– Импортирование из трёхмерной графики, работа с трёхмерной графикой;
– Работа с графикой, создание макросов элемента графики, символа, окна;
– Создание и редактирование символов, определение выводов;
– Назначение устройств, жгутов, кабелей из базы данных и спецификации;
– Предварительное планирование;
– Работа с объектами (устройство, клеммники, штекеры, кабели и т.д.);
– Редактирование параметров интерфейса и свойств элементов;
– Вывод отчётной документации;
– Ревизия проекта;
– Генерация макросов.

Интерфейс можно настроить под любые задачи и под любого пользователя. Дополнительные окна в рабочем пространстве являются удобным инструментом при работе с многопоточными данными.

Редактирование свойств символа происходит в отдельном окне, где можно настраивать: описание самого символа как элемента схемы, отображение начертания и надписей, связь с базой данных, назначение объекта из спецификации.

Скрытая графика активируется кнопками «I» (отображение элементов в скрытом слое) и «U» (отображение точек привязки), они позволяют более точно настраивать элементы. Макросы генерируются из панели инструментов, а пример работы рассмотрим на автоматической маркировке кабелей: макросы настроены на распознавание кабелей одного потенциала, тем самым назначают одинаковую нумерация для кабелей одного потенциала и разную – для кабелей разного потенциала. При этом макросы распознают устройства, которые меняют и не меняют потенциал.

Самым главным достоинством EPLAN является способность генерировать отчётную документацию: рабочие чертежи, эскизные чертежи, схемы принципиальные, схемы подключения, таблицы подключения, спецификация, кабельный журнал и т.д. Притом первые три создаются в полуавтоматическом режиме, а последующие – в автоматическом.

И, наконец, EPLAN Electric P8 – программное обеспечение, обеспечивающее:

– Гибкость – всесторонняя поддержка как графического проектирования, так и подхода, ориентированного на изделия;
– Макротехнологии – масштабируемые, основанные на графических вариантах и наборах значений;
– Надежные результаты – логические функции проверки и автоматизированная отчетность по проекту;
– Глобальность – поддержка международных стандартов (IEC, NFPA, ГОСТ, GB);
– Сквозное проектирование – непосредственный обмен данными между электрическими, гидравлическими и пневматическими разделами.

Выигрыш во времени:
– Сокращение трудоемких операций благодаря автоматизации большинства функций;
– Меньше работы благодаря упрощению согласования со смежными отделами;
– Сокращение сроков проектирования при гарантированном качестве проекта.

Повышение качества:
– Контрольный прогон исключает неверные решения;
– Системный подход обеспечивает минимизацию числа ошибок в документации.

Повышенная гибкость:
– Дополнительная гибкость в организации рабочего процесса;
– Упрощение работы и упрощение обмена данными с коллегами-иностранцами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG.* Основа эффективного инжиниринга – единство и совместимость данных: статья // Control Engineering Россия. Октябрь 2015. № 5 (59). С. 100.

APPLICATION OF EPLAN PROGRAM ENVIRONMENT IN ELECTROTECHNICAL DESIGN

Smirnov P.
pavlik_smi@mail.ru
Supervisor: G. Khairullina
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

This article provides an overview of the EPLAN software and its subsystems, and its EPLAN Electric P8 subsystem in more detail; also provides an overview of the functionality of the software, due to which it facilitates and accelerates the work of engineers in the field of electrical engineering.

УДК 621.314.21

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИННОВАЦИОННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Солдусова Е.О., Проничев А.В.
esoldusova@inbox.ru
Научный руководитель: А.А. Казанцев
(Самарский государственный технический университет, г. Самара)

Была оценена эффективность применения инновационных трансформаторов по сравнению с масляными и эффективность применения высокотемпературных сверхпроводниковых кабелей по сравнению с существующими кабелями. Результаты моделирования показали, что при комбинированной замене существующих трансформаторов и кабелей на инновационные потери в сети снижаются на 76%.

Потери электроэнергии ΔW в электроустановках ЭССЭ при передаче, распределении и потреблении электроэнергии – это с точки зрения закона сохранения энергии неизбежные энергетические и экономические затраты на обеспечение физической сущности названных технологических процессов. Можно констатировать, что эти затраты, в частности, связанные с выделением тепла, за исключением его полезного использования, наносят вред, как самому электрооборудованию, так и окружающей среде [1-2].

Поэтому несмотря на то, что проблема снижения суммарных потерь электрической мощности и энергии в электроэнергетике всегда была и есть в центре внимания эксплуатации, научных исследований, проектирования и конструирования новых электроустановок и процессов, можно констатировать непреходящую актуальность и необходимость поиска новых решений. В современных условиях потери электроэнергии и мощности можно существенно снизить применением в конструкциях силовых трансформаторов следующих инновационных решений:

- Использование эффекта сверхпроводимости низко- и высокотемпературной (для кардинального уменьшения нагрузочных потерь в обмотках СТ [3-4].
- Внедрение новых эффективных способов формирования основного магнитного потока СТ с помощью аморфных ферромагнитных материалов и перспективных бессердечниковых конструкций СТ для значительного (в 5-6 раз) снижения потерь холостого хода трансформатора [5-6].
- Применение комбинированной конструкции, сочетающей в себе использование аморфных магнитопроводов, и материалов, которые обладают эффектом высокотемпературной сверхпроводимости для изготовления обмоток СТ (АВТСТ) [1].

Силовой трансформатор является наиболее ответственной и дорогостоящей электроустановкой в ЭССЭ, а применение новых материалов увеличивает его стоимость. Поэтому необходимо, чтобы этот элемент сети функционировал с высокой надёжностью и стабильностью [6].

Моделирование участка сети Красноглинского района г. Самара в ПК RastrWin3

Была смоделирована замена существующих кабелей на высокотемпературные сверхпроводниковые (ВТСП) и замена традиционных масляных трансформаторов на АВТСТ (рис. 1-2).

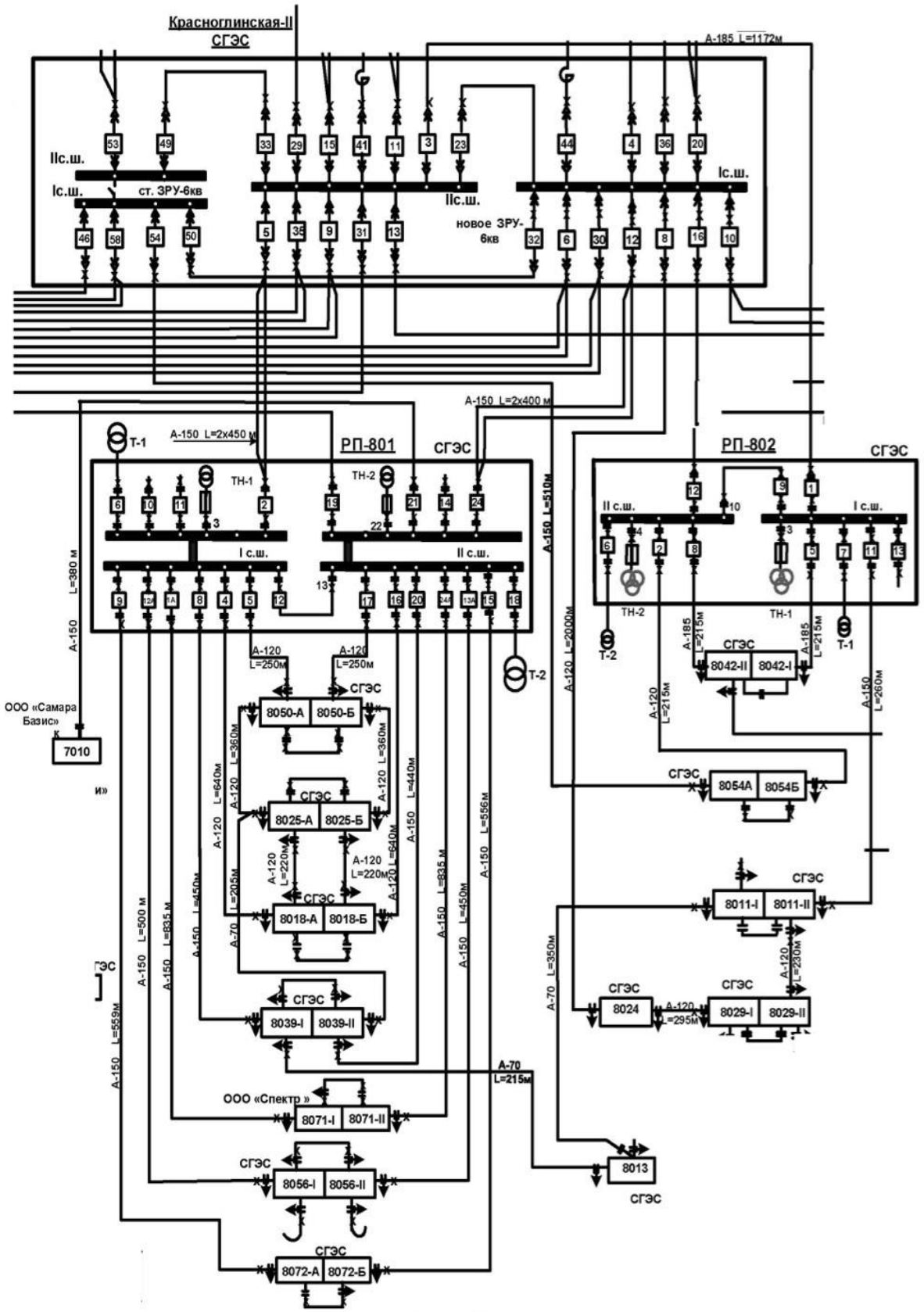


Рис. 1. Фрагмент сети Красноглинского района г. Самара

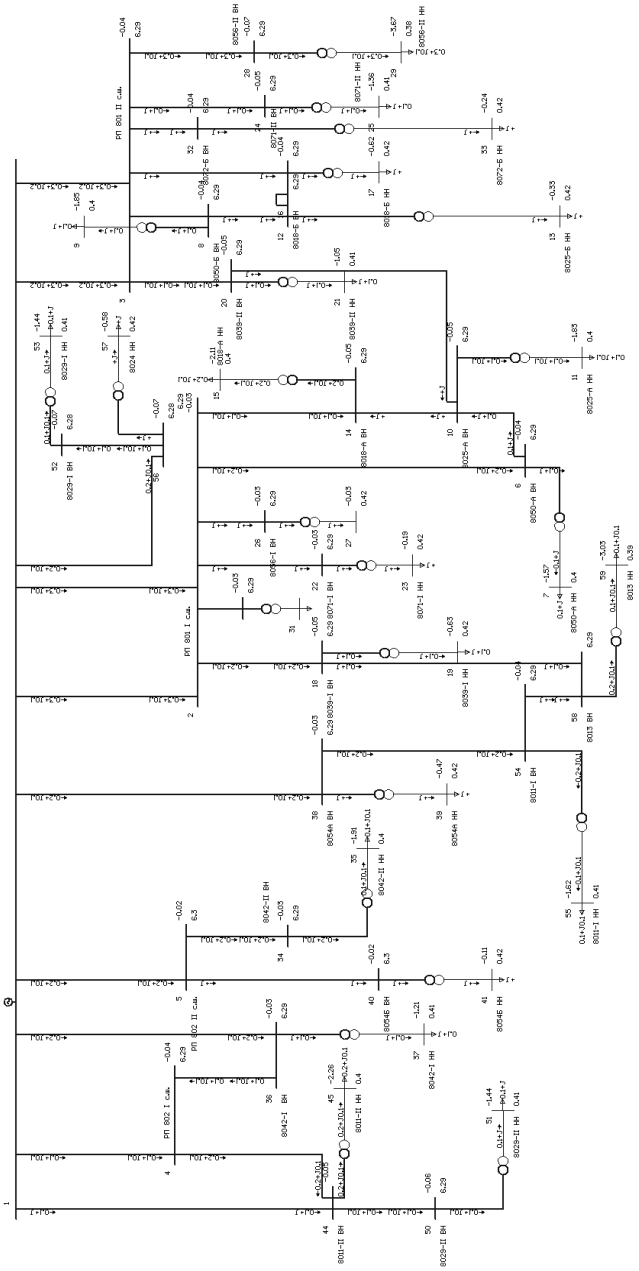


Рис. 2. Фрагмент сети Красноглинского района г. Самара в ПК RastrWin3

Для данной сети были рассмотрены 3 режима: нормальный режим, замена только на ВТСП кабели и одновременная замена на ВТСП кабели и АВТСТ трансформаторы.

Исходные данные (R, L и C) для ВТСП кабелей были взяты из результатов испытаний опытного образца ВТСП кабеля, изготовленного в Филиале АО «Объединенная ракетно-космическая корпорация» - «Научно-исследовательский институт космического приборостроения» в г. Москва по заказу НТЦ ФСК ЕЭС. Далее, на основании полученных результатов были найдены индуктивное сопротивление (X) и емкостная проводимость (B) по известным выражениям:

$$X = \frac{2\pi f L}{4\pi^2 f^2 LC - 1};$$

$$B = wC - \frac{1}{wL},$$

где f – частота в электрической сети переменного тока, равная 50 Гц.

Результаты

Полученные значения потерь электрической мощности графически представлены на Рисунке 3, из которых можно увидеть, что потери при комбинированной замене на инновационные кабели и трансформаторы снижаются на 76%.

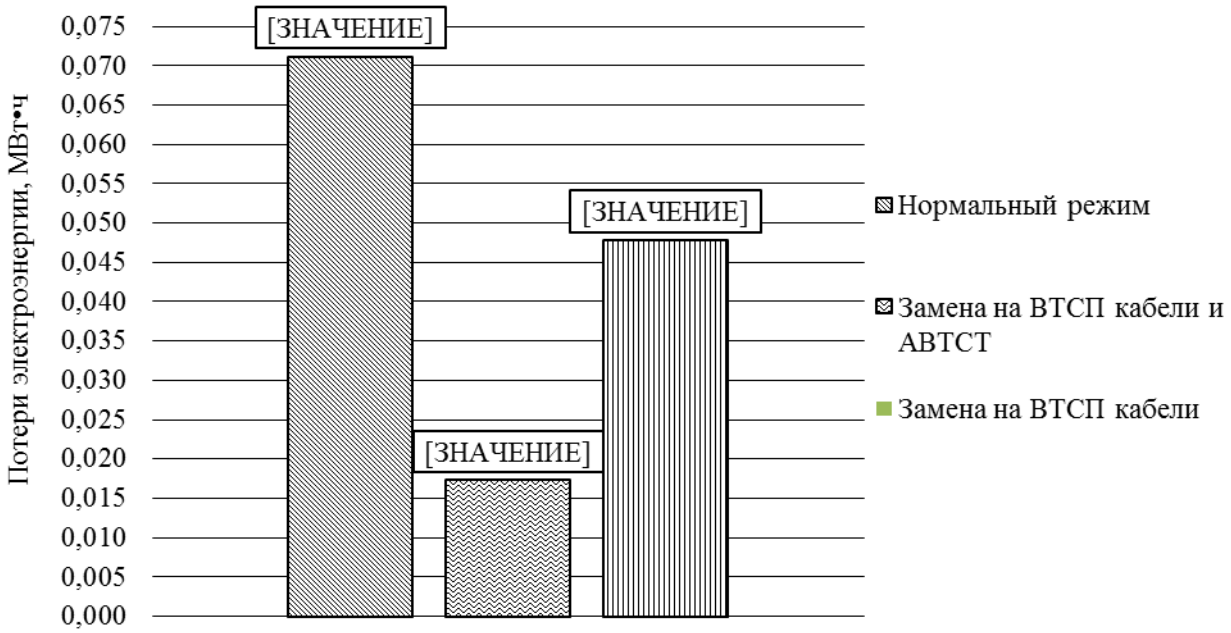


Рис. 3. Результаты расчетов потерь для различных режимов сети Красноглинского района г. Самара

Выводы

На основании полученных расчетов (Рис. 3) можно сделать вывод, что комбинированная замена существующих кабелей на высокотемпературные сверхпроводниковые кабели и традиционных трансформаторов на АВТСТ трансформаторы также значительно влияет на энергоэффективность сети (наблюдалось снижение потерь на 76%).

Также следует отметить, что применение ВТСП кабелей позволит сократить количество ступеней трансформации в электроэнергетической системе, так как такие кабельные линии позволяют передавать большую мощность на низком напряжении, что приведёт к кардинальному снижению эксплуатационных затрат в сети (до 20%). Такая технология эффективна при строительстве кольцевых схем и энергомостов. Однако, при использовании ВТСП кабелей произойдёт увеличение токов КЗ в сети, но данная проблема будет решаться путём установки инновационных токоограничителей в местах превышения значений токов КЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Савинцев Ю.М.* Анализ состояния производства в РФ силовых масляных СТ I-III габаритов// Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2012. - №1. – С. 43-53.

2. *Александров Н. В.* Исследование влияния сверхпроводниковых трансформаторов на режимы электроэнергетических систем. Автореферат дис. канд. техн. наук по специальности 05.14.02. НГТУ. Новосибирск. 2014.

3. *Гольдштейн В.Г., Инаходова Л.М., Казанцев А.А., Молочников Е.Н.* Анализ эксплуатационных свойств трансформаторов с сердечниками из аморфных материалов и защита их с помощью нелинейных ограничителей перенапряжений. Вестник СамГТУ. Серия "Техн. науки". – Самара, №4 (40). 2013 г. с. 149-157.

4. *Кузнецов Д.В., Гольдштейн В.Г.* Совершенствование концепции и методов организации энергоснабжения мегаполисов. Промышленная энергетика 2014. №2.

5. *Манусов В.З., Александров Н.В.* Ограничение токов короткого замыкания с помощью трансформаторов с высокотемпературными сверхпроводящими обмотками // Известия ТПУ.

- 2013. - №4. - с. 100-105.

6. *Berger A., Cherevatskiy S., Noe M., Leibfried T.* Comparison of the efficiency of superconducting and conventional transformers / A. Berger, // Journal of Physics: Conference Series 234. 2010.

ANALYSIS OF THE MODES OF POWER SUPPLY SYSTEMS OF CITIES USING INNOVATIVE ELECTRICAL EQUIPMENT

Soldusova E., Pronichev A.
esoldusova@inbox.ru
Supervisor: A. Kazantzev
(*Samara State Technical University, Samara*)

The efficiency of using innovative transformers compared to oil ones and the efficiency of using high-temperature superconducting cables compared to existing cables was evaluated. The simulation results showed that the combined replacement of existing transformers and cables for innovative network losses is reduced by 76%.

УДК 621.833

АНАЛИЗ СХЕМ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ РУЛЕВЫХ ПРИВОДОВ

Спирин А.А.
djalex844@yandex.ru
Научный руководитель: А.А. Гуськов, канд. техн. наук, доцент
(Арзамасский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е.Алексеева, г. Арзамас)

В данной статье рассмотрены основные принципы построения электромеханических рулевых приводов, применяемых в перспективных малогабаритных высокоманевренных летательных аппаратах. Рассмотрены основные варианты конструкций, используемые в настоящее время, предложены варианты компоновки электромеханического привода в зависимости от предъявляемых к нему требований.

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений развития приводной техники в авиации является разработка силовых электромеханических приводов вращательного действия, допускающих встраивание исполнительного механизма в опорное устройство объекта управления. Узлами летательных аппаратов, требующих наличия силовых приводов, являются различные органы управления летательными аппаратами [1].

Создание электромеханических рулевых приводов в настоящее время является достаточно актуальной задачей. Электромеханические приводы обладают рядом преимуществ перед электрогидравлическими или пневматическими приводами, в частности, более высокий КПД, отсутствие механизма преобразования поступательного движения во вращательное, использование только одного вида энергии – электрической энергии, простота обслуживания, более низкая стоимость и др.

Традиционно рулевой привод состоит из четырех основных элементов:

- электродвигателя;
- механической передачи с выходным валом;
- датчика обратной связи;
- арретирующего устройства.

При этом выбор механической передачи является одним из наиболее важных моментов, поскольку именно от данного выбора будут зависеть основные характеристики привода.

Механическая передача в электроприводе выполняет функцию согласования моментно-скоростных характеристик электродвигателя и полезной нагрузки, что, как правило, требует понижения скорости вращения и увеличения момента, т.е. работы в режиме редуктора. Передаточные числа редукторов электромеханических рулевых приводов различных

летательных аппаратов находятся в диапазоне от 10 до 300.

В современном приборостроении в качестве механических передач наиболее широкое применение нашли:

- зубчатые цилиндрические передачи;
- классические винтовые передачи с трапецеидальной резьбой;
- шарико-винтовые передачи;
- ролико-винтовые передачи;
- планетарные передачи;
- волновые передачи с телами качения.

Наиболее распространены в электромеханических рулевых приводах зубчатые цилиндрические передачи благодаря простоте конструкции и технологичности. Основным недостатком цилиндрических редукторов является большое количество ступеней для реализации больших передаточных чисел, а так же значительные размеры зубчатых колес выходных пар.

Шарико-винтовая передача (ШВП) (рисунок 1) – это линейный механический привод, который преобразует вращательное движение в линейное и наоборот. Конструктивно она состоит из ходового винта, по которому движется шариковая гайка. Внутри гайки между ее внутренней резьбой и резьбой винта по спиралевидной траектории катятся шарики попадая затем в возвратные (внутренние или внешние) каналы.



Рис. 1. Шарико-винтовая передача

ШВП используют в виде дорожек для шариков, сделанных на поверхности ходового винта. Гайка ШВП, в свою очередь, имеет аналогичные дорожки на своем корпусе, реализованные таким образом, чтобы шарики, циркулирующие в них, с одной стороны сидели в канале жестко, а с другой - легко передавали усилия с дорожек винта на гайку. ШВП обладают высоким КПД благодаря трению качения. Методики расчета механизмов с трением качения достаточно проработаны [2, 3], что позволяет при проектировании механизмов с ходовыми винтами и ШВП достаточно точно предсказать их КПД и ресурс работы [2].

К достоинствам механизмов с ШВП следует отнести:

- приемлемую нагрузочную способность;
-жесткость;
-высокий КПД;
прогнозируемость ресурса и КПД;
-хорошее соотношение передаточное число-габариты;
-высокую кинематическую точность.

К недостаткам можно отнести:

-возможность проскальзывания при больших нагрузках;
-вероятность заклинивания при переходе шарика с дорожки на дорожку;
-сложность производства (высокие требования к поверхности ходового винта и механизму циркуляции шариков, а также к самим шарикам);
-необходимость реализации механизма, преобразующего поступательное движение ходового винта или гайки во вращательное движение руля.

Ролико-винтовая передача (рисунок 2) является одной из самых мощных и грузоподъемных линейных передач [3]. Конструктивно ролико-винтовая передача состоит из

ходового винта и специальной гайки, внутри которой по окружности расположены ролики параллельные винту. Нагрузка передается от гайки к винту через все ролики одновременно. РВП обладает большой площадью контакта между резьбой роликов и резьбой винта, что обеспечивает больший по сравнению с ШВП ресурс и грузоподъемность, а также значительно большую жесткость. Поскольку ролики разъединены кольцом по типу планетарной передачи, они не обладают паразитным взаимным трением, как шарики в ШВП (соседние шарики в канале гайки ШВП крутятся навстречу друг другу), и это дает возможность достигать больших угловых скоростей и ускорений винта. При этом, КПД РВП не сильно уступает КПД ШВП, так как в РВП также реализовано трение качения.

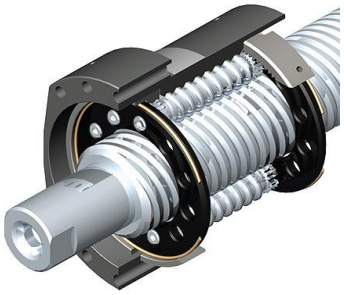


Рис. 2. Ролико-винтовая передача

Планетарными называют передачи, имеющие зубчатые колеса с подвижными осями (рисунок 3).



Рис. 3. Планетарная зубчатая передача

Достоинствами планетарной зубчатой передачи являются большое передаточное число в одной ступени, малые массогабаритные параметры, удобство компоновки, высокую надежность работы [4].

К недостаткам стоит отнести повышенные требования к точности изготовления и монтажа передачи, большее количество деталей, в том числе подшипников, сложная сборка, большая чувствительность к балансировке. С ростом передаточного отношения, КПД планетарной передачи резко снижается.

Волновые передачи (рисунок 4) основаны на принципе передачи вращательного движения за счет бегущей волновой деформации одного из зубчатых колес [5]. В волновых передачах с промежуточными телами качения роль гибкого колеса выполняет цепочка тел качения, каждое из тел совершает волнообразное перемещение относительно жесткого колеса [6].

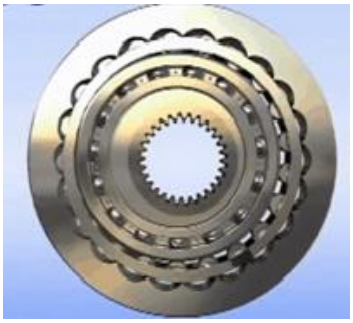


Рис. 4. Волновая передача с промежуточными телами качения

К достоинствам приводов с волновыми передачами относятся:

- высокое передаточное число в одной ступени (от 6 до 30) позволяет реализовать редуктор одной-двумя ступенями ВПТК или одной ступенью ВПТК (выходной) и цилиндрическими промежуточными низкомоментными ступенями;
- гибкость компоновки – ВПТК может быть выполнена полой внутри (диаметр отверстия до половины диаметра передачи), что позволяет пропустить внутри ВПТК ось руля или разместить датчик положения или электродвигатель, при этом выходным звеном ВПТК может служить как внешняя или внутренняя обойма, так и торцевая деталь;
- маленький момент инерции передачи, высокий КПД, высокая кинематическая точность [7].

Сложности применения волновых передач связаны с тем, что их производство плохо освоено, изготовление таких передач является весьма дорогостоящим и трудоемким, в технической литературе отсутствуют освоенные методики проектирования и расчета таких передач.

В таблице приведены значения КПД механических передач.

Таблица

КПД механических передач

Тип передачи	КПД
Зубчатая планетарная	0,96...0,98 (при значении передаточного отношения 7...16)
Зубчатая цилиндрическая	0,98
Волновая передача с промежуточными телами качения	0,8...0,9
Шарико-винтовая передача	До 0,9
Ролико-винтовая передача	До 0,8
Винтовая передача с трапецеидальной резьбой	0,25-0,35

В работе [7] проведен сравнительный анализ массогабаритных характеристик различных типов передач, результаты которого наглядно иллюстрируются семейством графиков (рисунок 5). На рисунке 5 приведены зависимости отношения объема, занимаемого передачей и передачей совместно с электродвигателем, к моменту нагрузки, от передаточного числа для различных типов передач [7].

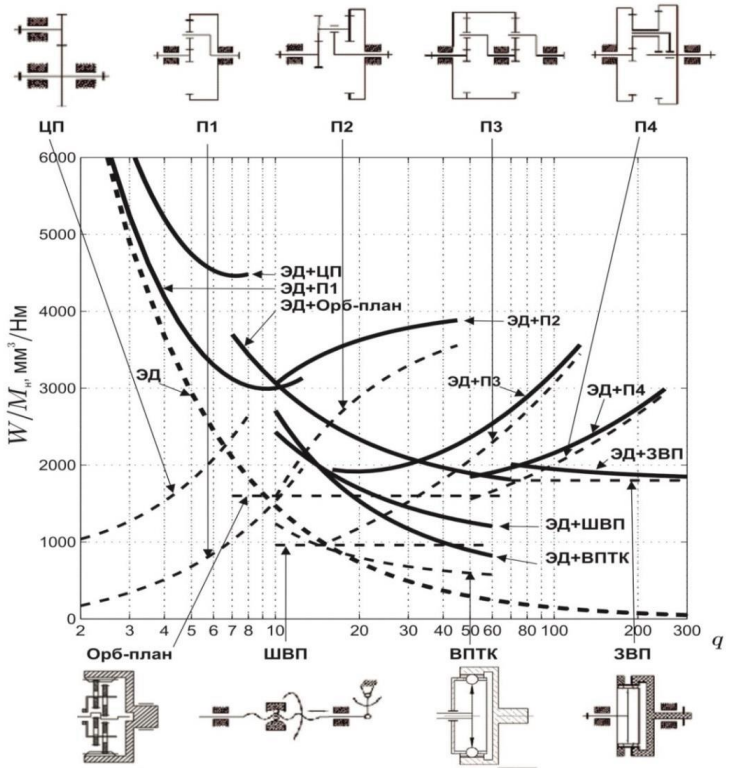


Рисунок 5 – Зависимость объемов различных типов механических передач (пунктирные линии) и механических передач совместно с электродвигателем (сплошные линии) от передаточного числа. Передачи: ЦП – зубчатая цилиндрическая; ЧП – червячная; П1, П2, П3, П4 – планетарные; ШВП – шарико-винтовая с рычажным механизмом; Орб.-план – орбитально-планетарная (цевочная); ЗВП – зубчатая волновая передача; ВПТК – волновая с телами качения. ЭД – электродвигатель

Оценка габаритов механических передач проведена при допущениях [7]:

1. КПД передач равен единице. Такое допущение приводит к необходимости увеличения коэффициента запаса по расчетной нагрузке.

2. Все элементы передачи изготовлены из одного материала – легированной стали, термообработанной (цементация и закалка до HRC = 30±5). Предел выносливости материала $[\sigma_{-1}]$: для выходных пар 400 МПа, для промежуточных 500 МПа.

3. Учет прочности зубьев определяется модулем зацепления, который для предварительных расчетов габаритных размеров зубчатых передач выражается упрощенными зависимостями: для выходной пары $m \geq \sqrt[3]{\frac{M_н \cdot 10^3}{400 z_k}}$, для промежуточной пары $m \geq \sqrt[3]{\frac{M_н \cdot 10^3}{500 z_k}}$.

Таким образом, выбор механической передачи в электромеханическом рулевом приводе зависит от целой совокупности факторов. К данным факторам можно отнести нагрузочную способность, соотношение габариты-передаточное число, КПД, ресурс, надежность и др. В зависимости от требований, предъявляемых приводу, и, с учетом достоинств и недостатков механических передач, описанных в данной статье, можно сделать выбор исполнительного механизма, который будет максимально удовлетворять предъявляемым требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Геращенко А.Н., Постников В.А., Самсонович С.Л.* Пневматические, гидравлические и электрические приводы летательных аппаратов на основе волновых исполнительных механизмов: Учебник. – 2 е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010 – 548 с.

2. *Павлов Б.И.* Шарико-винтовые механизмы в приборостроении. – Ленинград-Москва,

Машиностроение, 1968. – 134 с.

3. *Блинов Д. С.* Планетарные роликовинтовые механизмы. Конструкции, методы расчетов / Под ред. О. А. Ряховского. – М.: МГТУ, 2006. – 222 с.

4. *Руденко Н.Ф.* Планетарные передачи. Теория, применение, расчет и проектирование. – М.: Машгиз, 1947. – 756 с.

5. *Иванов М.Н.* Волновые зубчатые передачи. – М.: Высшая школа, 1981.

6. Передачи с промежуточными телами качения: определение и минимизация потерь мощности: монография / М. Е. Лустенков. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 274 с.

7. *Степанов В.С.* Методика проектирования привода на основе волновой передачи с телами качения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2009 г.

ANALYSIS OF THE DESIGN OF ELECTROMECHANICAL STEERING GEARS

Spirin A.

djalex844@yandex.ru

Supervisor: A. Guskov, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor

(Arzamas Polytechnic Institute (branch) of Nizhniy Novgorod State Technical University named after R.Ye. Alekseev, Arzamas)

In this paper the basic principles of building electromechanical steering gears used in promising small-sized high maneuverable aircrafts are reviewed. The main designs currently used are reviewed. Layout options for an electromechanical steering gear depending on the requirements placed on it are given.

УДК 625

РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ МОТОР-КОЛЕСА ДЛЯ САМОЛЕТА С УЧЕТОМ МАГНИТНЫХ ПОТЕРЬ

Студнева Е.Е.

ytathnbnb1997@gmail.com

Научный руководитель: А.Ю. Афанасьев, д-р техн. наук, профессор

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

Рассматривается мотор-колесо для самолета с синхронным двигателем, имеющим ротор-индуктор с возбуждением от высококоэрцитивных постоянных магнитов с неявно выраженными полюсами. Используется теория обобщенной электрической машины. Магнитные потери в магнитопроводе учитываются с помощью эквивалентной обмотки на статоре.

Электродвигатель имеет торцевое исполнение. Два кольцевых магнитопровода выполнены из ферромагнитной ленты. Каждый магнитопровод имеет шесть зубцов с катушками, образующими три фазы (см. рис. 1). Ротор быстрого вращения имеет четыре постоянных магнита в виде секторов, намагниченные аксиально и имеющие чередующиеся полюса (см. рис. 2).

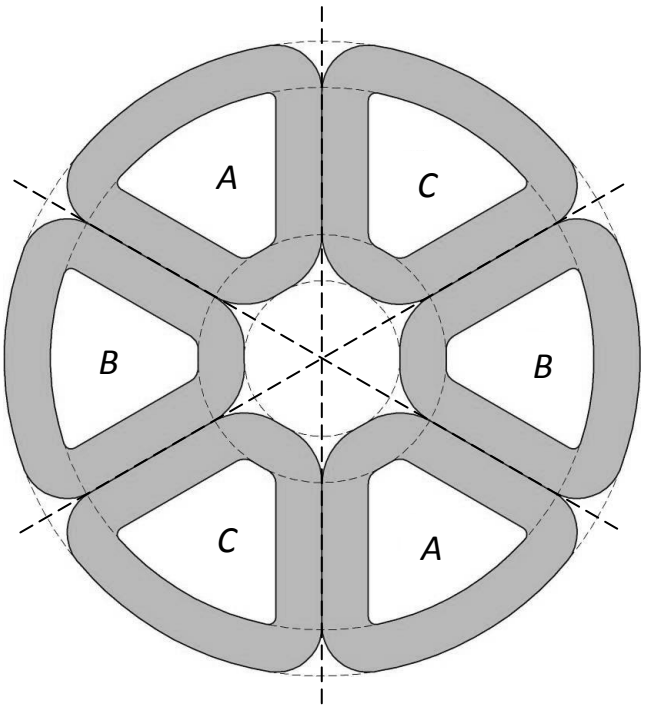


Рис .1. Магнитопровод

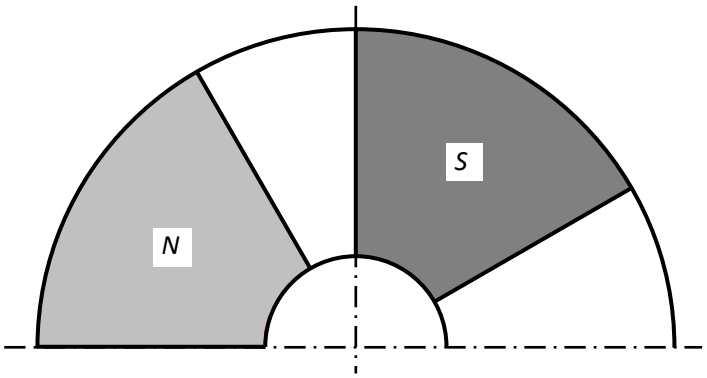


Рис. 2. Ротор-индуктор

Согласно теории обобщенной электрической машины уравнения синхронного двигателя с учетом потерь в магнитопроводе имеют вид:

$$u_d = ri_d + L\frac{di_d}{dt} + M\frac{di_{ed}}{dt} - \omega L i_q - \omega M i_{eq};$$

$$u_q = ri_q + L\frac{di_q}{dt} + M\frac{di_{eq}}{dt} + \omega L i_d + \omega M i_{ed} + \omega\Psi_0;$$

$$0 = r_e i_{ed} + L_e\frac{di_{ed}}{dt} + M\frac{di_d}{dt} - \omega L_e i_{eq} - \omega M i_q;$$

$$0 = r_e i_{eq} + L_e\frac{di_{eq}}{dt} + M\frac{di_q}{dt} + \omega L_e i_{ed} + \omega M i_d + \omega\Psi_0;$$

$$M_э = \Psi_0(i_q + i_{eq});$$

$$J\frac{d\omega}{dt} = p(pM_э - M_с).$$

Здесь $u_d, i_d -$ напряжение и ток продольной фазы обмотки статора обобщенной электрической машины; $u_q, i_q -$ напряжение и ток поперечной фазы обмотки статора; $u_{ed}, i_{ed} -$ напряжение и ток продольной фазы обмотки, эквивалентной магнитным потерям;

u_{eq}, i_{eq} – напряжение и ток поперечной фазы обмотки, эквивалентной магнитным потерям; r, L – активное сопротивление и индуктивность фазы обмотки статора; r_e, L_e – активное сопротивление и индуктивность фазы обмотки, эквивалентной магнитным потерям; M – взаимная индуктивность между соосными фазами обмотки статора и эквивалентной обмотки; ω – частота вращения ротора в эл.рад/сек; p – число пар полюсов; Ψ_0 – потокосцепление продольной фазы обмотки статора и эквивалентной обмотки с магнитным полем ротора-индуктора; $M_э$ – электромагнитный момент обобщенной машины; $M_с$ – статический момент исполнительного механизма; J – момент инерции подвижных частей.

В установившемся режиме все напряжения и токи постоянны, и электродвигатель описывается уравнениями

$$u_d = ri_d - \omega L i_q - \omega M i_{eq};$$
$$u_q = ri_q + \omega L i_d + \omega M i_{ed} + \omega\Psi_0;$$
$$0 = r_e i_{ed} - \omega L_e i_{eq} - \omega M i_q;$$
$$0 = r_e i_{eq} + \omega L_e i_{ed} + \omega M i_d + \omega\Psi_0.$$

Обозначим

$$x = \omega L;\ x_e = \omega L_e;\ x_M = \omega M;\quad U_0 = \omega\Psi_0.$$

Уравнения примут вид

$$u_d = ri_d - xi_q - x_M i_{eq};$$
$$u_q = ri_q + xi_d + x_M i_{ed} + U_0;$$
$$0 = r_e i_{ed} - x_e i_{eq} - x_M i_q;$$
$$0 = r_e i_{eq} + x_e i_{ed} + x_M i_d + U_0.$$

Введем на плоскости d – q пространственные вектора

$$\overline{U} = \begin{pmatrix} u_d \\ u_q \end{pmatrix};\qquad \overline{I} = \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix};$$
$$\overline{I}_e = \begin{pmatrix} i_{ed} \\ i_{eq} \end{pmatrix};\qquad \overline{U}_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ U_0 \end{pmatrix}$$

и поворотную матрицу

$$\overline{j} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Тогда уравнения электродвигателя можно записать в виде

$$\overline{U} = r\overline{I} + \overline{j}x\overline{I} + \overline{j}x_M\overline{I}_e + \overline{U}_0; \qquad (1)$$
$$0 = r_e\overline{I}_e + \overline{j}x_e\overline{I}_e + \overline{j}x_M\overline{I} + \overline{U}_0. \qquad (2)$$

Умножим первое уравнение скалярно на вектор $\overline{I}$, а второе уравнение на $\overline{I}_e$ и сложим полученные равенства. Получим после сокращений:

$$\overline{U}\cdot\overline{I} = r\overline{I}\cdot\overline{I} + r_e\overline{I}_e\cdot\overline{I}_e + \overline{U}_0\cdot(\overline{I}_q + \overline{I}_{eq})$$

или в покоординатной записи

$$u_d i_d + u_q i_q = r(i_d^2 + i_q^2) + r_e(i_{ed}^2 + i_{eq}^2) + U_0(i_q + i_{eq}).$$

Это равенство можно представить в виде

$$P_э = \Delta P_э + \Delta P_м + P_{эм} = \Delta P_э + \Delta P_м + M_э\omega.$$

Здесь $P_э$ – мощность, потребляемая из сети; $\Delta P_э$ – мощность электрических потерь в обмотке статора; $\Delta P_м$ – мощность магнитных потерь в магнитопроводе; $P_{эм}$ –

электромагнитная мощность, равная механической мощности на валу без учета механических потерь. Из последнего равенства может быть найден электромагнитный момент обобщенной машины:

$$M_э = \frac{U_0(i_q + i_{eq})}{\omega} = \frac{P_э - \Delta P_э - \Delta P_м}{\omega}.$$

При проектировании синхронного электродвигателя мощности электрических и магнитных потерь могут быть найдены по формулам

$$\Delta P_э = V_м \rho j^2; \qquad \Delta P_м = V_с f^{1,3} B_m^2.$$

Здесь $V_м$ – объем меди обмотки; ρ – удельное сопротивление меди обмотки; j – плотность тока; $V_с$ – объем стали магнитопровода; f – частота перемагничивания; B_m – амплитуда магнитной индукции.

Положим, что $i_d = 0.$ Тогда из уравнения (2) с учетом неравенства $r_e >> x_e$ следует

$$i_{ed} = -\frac{x_M I}{r_e}; \qquad i_{eq} = -\frac{U_0}{r_e}.$$

Тогда мощность магнитных потерь принимает вид

$$\Delta P_м = \frac{(x_M I)^2 + U_0^2}{r_e}.$$

Отсюда следует:

$$i_{eq} = \frac{-\Delta P_м U_0}{(x_M I)^2 + U_0^2};$$

$$M_э = \Psi_0 \left(i_q - \frac{\Delta P_м U_0}{(x_M I)^2 + U_0^2} \right).$$

Учитывая неравенство

$$(x_м I)^2 << U_0^2,$$

получаем простую формулу для момента синхронного электродвигателя:

$$M_э = \Psi_0 i_q - \frac{\Delta P_м}{\omega}.$$

Полученные формулы позволяют провести электромагнитный расчет синхронного двигателя для мотор-колеса с учетом магнитных потерь.

Решим тестовую задачу:

```
PROGRAM LOSSES;
VAR
IED,        { ток продольной фазы эквивалентной обмотки }
IEQ,        { ток поперечной фазы эквивалентной обмотки }
IQ,         { ток поперечной фазы обмотки }
KPD,        { КПД }
LE,         { индуктивность  фазы эквивалентной обмотки }
LL,         { индуктивность фазы обмотки }
LM,         { взаимная индуктивность }
ME,         { расчетный момент }
MM,         { точный момент }
OM,         { угловая частота вращения }
PE,         { мощность электрических потерь в обмотке }
PEE,        { сумма мощностей }
PM,         { мощность магнитных потерь }
PME,        { механическая мощность }
PS,         { активная мощность сети }
PSI,        { потокосцепление потока ротора-индуктора }
```

```
R,          { активное сопротивление фазы обмотки }
RE,                 { активное сопротивление фазы эквивалентной обмотки }
UD,                 { напряжение продольной фазы обмотки }
UO,                 { напряжение от потока ротора-индуктора }
UQ,                 { напряжение поперечной фазы обмотки }
X,          { индуктивное сопротивление фазы обмотки }
XE,                 { индуктивное сопротивление фазы эквивалентной обмотки }
XM,                 { индуктивное сопротивление взаимной индукции }
ZN:                 { знаменатель }
REAL;
BEGIN
OM:=314;          LL:=5E-3;
LE:=5E-3;         LM:=4E-3;
R:=0.2;     RE:=200;       IQ:=5;
X:=OM*LL;
XE:=OM*LE;
XM:=OM*LM;
PSI:=0.3;
UO:=OM*PSI;
ZN:=RE*RE+XE*XE;
IED:=(RE*XM*IQ-XE*UO)/ZN;
IEQ:=-(UO*RE+XM*XE*IQ)/ZN;
UD:=-X*IQ-XM*IEQ;
UQ:=UO+R*IQ+XM*IED;
PE:=R*IQ*IQ;
PM:=RE*(IED*IED+IEQ*IEQ);
PS:=UQ*IQ;
MM:=PSI*(IQ+IEQ);
PME:=OM*MM;
ME:=PSI*IQ-PM/OM;
PEE:=PE+PM+PME;
KPD:=PME/PEE;
WRITELN('MM=',MM:10:5,'  ME=',ME:10:5);
WRITELN('PE=',PE:10:5,'  PM=',PM:10:5,
'  PME=',PME:10:5);
WRITELN('UD=',UD:10:5,'  UQ=',UQ:10:5,
'  UO=',UO:10:5);
WRITELN('IED=',IED:9:5,'  IEQ=',IEQ:10:5);
WRITELN('PEE=',PEE:10:5,'  PS=',PS:10:5,
'  KPD=',KPD:10:5);
READLN
END.
```

При решении задачи точный момент M_M=1,39906 Н·м, расчетный момент M_E=1,3985 Н·м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Афанасьев А.Ю., Березов Н.А., Газизов И.Ф., Макаров В.Г.* Синхронный электродвигатель с магнитной редукцией. Патент РФ 2668817, МПК H02K 16/00, H02K 19/06, H02K 21/24, H02K 51/00. Бюлл. № 28, 08.10.2018.

2. *Афанасьев А.Ю., Березов Н.А., Газизов И.Ф., Макаров* А.В. Мотор-колесо. Патент РФ 2673587, МПК H02K 19/06, B60K 7/00. Бюлл. № 34, 28.11.2018.

3. *Афанасьев А.Ю., Каримов А.Р., Студнева Е.Е.* Мотор-колесо для самолета.

CALCULATED RATIOS OF A SYNCHRONOUS MOTOR MOTOR-WHEEL FOR AIRCRAFT TAKING INTO ACCOUNT MAGNETIC lOSSES

Afanasiev A., Studneva E.
ytathnbnb1997@gmail.com
Supervisor: A. Afanasiev, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The motor-wheel for an aircraft with a synchronous engine having a rotor-inductor with excitation from high-coercive permanent magnets with implicitly expressed poles is considered. The theory of the generalized electric machine is used. Magnetic losses in the magnetic core are taken into account using an equivalent winding on the stator.

УДК 629.331

АЛЮМИНИЙ-ИОННЫЕ БАТАРЕИ КАК БУДУЩЕЕ ЭЛЕКТРОКАРОВ

Фатыхов Д.А., Исмагилов Т.А.
fatykhovismagilov@mail.ru
Научный руководитель: О.Н. Рожко, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Представлен альтернативный источник энергии для электромобилей. А также идёт сравнение с другими видами аккумуляторов.

Зачастую электромобиль вызывал у большинства пользователей недоверие. В самом деле, эти автомобили по своим характеристикам уступают классическим моделям на бензиновых или дизельных двигателях. Но их усовершенствование идёт полным ходом, и скорее всего, в скором будущем весь мир перейдёт на экологические, бесшумные и экономичные автомобили с двигателями на электрической тяге.

Для автолюбителя, а также для людей, которые следят за прогрессом экологического транспорта основными критериями выбора автомобиля являются его технические характеристики и его стоимость. Эти критерии определяются на этапе разработки электромобиля, при выборе аккумуляторов, которые питают электродвигатель, и тот в свою очередь приводит его в движение. Поскольку аккумуляторные батареи в электрокаре являются элементом, влияющим на скорость разгона, стоимость и на длительность эксплуатации [1].



Рис. 1. Аккумуляторные батареи

Эксплуатационные и электрические показатели аккумуляторных батарей зависят от состава электролита и материала производства электродов. Самыми распространенными являются литий-ионные батареи (рис.2), которые используются в электрокарах.



Рис. 2. Литий-ионные аккумуляторные батареи,
которые устанавливаются в днище автомобиля Tesla Model S

Но у данного типа имеются минусы, такие как [2]:

- относительная дороговизна;
- низкая устойчивость к избыточному заряду и полному разряду поэтому умные Li-Ion батареи оснащаются встроенными системами автоматического отключения;
- небезграничный диапазон рабочих температур (от -20 до + 50 С);
- ухудшение работы при высоких температурах, снижение емкости при использовании на морозе;
- затрудненность зарядки при отрицательных температурах;
- взрывоопасность при повреждении корпуса проколе или другом нарушении герметичности;
- эксплуатационные свойства батареи теряются под давлением времени, чаще чем у остальных.

Поэтому в нашем исследовании мы предлагаем рассмотреть альтернативу данным аккумуляторам.

На данный момент, помимо литий-ионных аккумуляторов, производятся следующие разновидности [3]:

- Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи;
- Натрий никель-хлоридные аккумуляторные батареи или ZEBRA;
- Никель-кадмиевые аккумуляторные батареи;
- Алюминий-ионные батареи.

Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи.

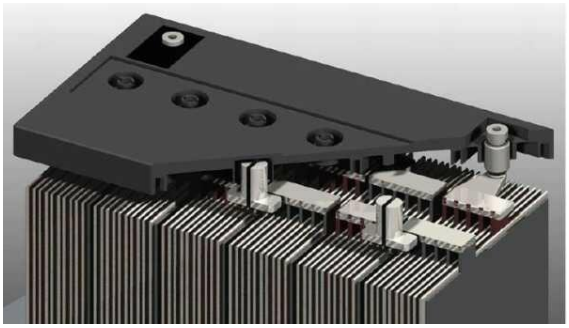


Рис. 3. Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи.
Классический автомобильный аккумулятор [4]

Плюсы свинцово-кислотных аккумуляторов:

- Эти аккумуляторы пользуются высоким спросом, поэтому их доступность достаточно высока;
- Низкий саморазряд батареи;
- Высокая устойчивость к большим нагрузкам;

- Экологичны.

Минусы свинцово-кислотных аккумуляторов:

- Имеют большой вес;
- Плотность хранения энергии ниже, чем литий-ионных;
- Необходимо поддерживать постоянный уровень электролита;
- Тяжело выявить выход из строя.

Натрий никель-хлоридные аккумуляторы



Рис. 4. Натрий никиль-хлоридные аккумуляторные батареи [5]

Плюсы натрий никель-хлоридных аккумуляторов (NiNaCl):

- Наряду с литий-ионными аккумуляторами имеют высокую емкость;
- Низкая стоимость;
- Длительный срок эксплуатации – свыше тысячи циклов зарядки/разрядки аккумулятора;
- Способен переносить до 5-7% утраты производительности в связи с потерей элементов конструкции аккумулятора;
- Высокое напряжение
- Довольно высокая безопасность и экологичность.

Минусы натрий никель-хлоридных аккумуляторов (NiNaCl):

- Возможность нормальной работы только при высоких температурах;
- Требуется много времени для прогрева батареи;
- Частые температурные перепады пагубно влияют на эксплуатационные свойства аккумулятора.

Никель-кадмиевые аккумуляторные батареи



Рис. 5. Авиационная никель-кадмиевые аккумуляторные батареи [6]

Плюсы никель-кадмиевых аккумуляторных батарей:

- Способность выдавать высокий ток нагрузки;
- Возможна быстрая зарядка;
- Сохраняет высокую емкость до -40°С;
- Выдерживают большое количество циклов зарядки/разрядки;

Минусы Никель-кадмиевых аккумуляторных батарей:

- Высокий уровень саморазряда – они теряют около 8-10% своей ёмкости в первые дни эксплуатации после полного заряда;
- Во время простоя аккумулятор каждый месяц теряет около 8-10% заряда;
- В последствии долгого хранения, восстановить емкость возможно только после 5 циклов зарядки/разрядки;
- Для увеличения срока службы никель-кадмиевого аккумулятора перед зарядкой необходимо полностью его разрядить для предотвращения проявления «эффекта памяти». То есть зарядка не до конца разряженного аккумулятора ведёт за собой снижение его ёмкости.

На ряду с остальными аккумуляторными батареями в наш мир с громкими аплодисментами инвесторов вернулся обновленный Алюминий-ионный аккумулятор (Al-Ion) с графитовым катодом, который выгодно отличается от своих коллег.

Впервые о новых аккумуляторах нам довелось услышать от ученых из Стэндфордского университета, которые продемонстрировали удивительно быстрый способ зарядки с алюминиевым анодом и графитовым катодом [7].

Важным достоинством этих аккумуляторов является их долговечность. Количество циклов зарядки и разрядки аккумулятора больше, чем у его ближайшего родственника литий-ионного аккумулятора. Это достигается благодаря самому алюминию, с его менее активными свойствами.

Еще одним веским аргументом в пользу этого аккумулятора является его дешевизна, что очень выгодно для его производства.

И еще один важный плюс в пользу данных аккумуляторов – пожаробезопасность. Ни для кого не секрет, что при контакте влаги с воздухом, начинка литий-ионных аккумуляторов может сдетонировать. Новая батарея в данном случае полностью безопасна. Для доказательства этого уникального свойства разработчики проделали отверстие в работающем аккумуляторе. В результате пожароопасной реакции не наблюдалось, удивительно, что он продолжал свою работу, пока не вытек электролит.

Несмотря на относительно меньшую плотность хранения (проводимости) и меньшее напряжение, в сравнении с лидером аккумуляторной индустрии литий-ионной батареей, технология производства этих аккумуляторов совершенствуется: улучшаются характеристики, уменьшается стоимость кВт\час. Вполне вероятно, что алюминий-ионные аккумуляторы заменят все привычные нашему глазу источники энергии в автомобилях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аккумуляторные батареи в электромобиле – емкость, зарядка, потенциал (дальность хода) [Электронный ресурс] // URL: http://www.insidecarelectronics.com/ Режим доступа: свободный (дата обращения 02.03.17).

2. Литий ионные аккумуляторы [Электронный ресурс] // URL: https://pue8.ru/vybor-elektrooborudovaniya/ Режим доступа: свободный.

3. Обзор тяговых аккумуляторов, их виды и характеристики. [Электронный ресурс] // URL: https://akbinfo.ru/vybor/ Режим доступа: свободный (дата обращения 22.02.19).

4. Кислотные аккумуляторы. [Электронный ресурс] // URL: https://electrono.ru/ximicheskie-istochniki-toka/ Режим доступа: свободный

5. Батареи ZEBRA - описание, основные характеристики. [Электронный ресурс] // URL: http://sdisle.com/node/ Режим доступа: свободный (дата обращения 09.02.10).

6. Ni-Cd, Ni-MH и Li-Ion аккумуляторы. В чем разница. Плюсы и минусы. [Электронный

ресурс] // URL: http://www.radiosila.ru/lastnews/ Режим доступа: свободный (дата обращения 16.03.13).

7. Алюминиевая батарея заменит литий. [Электронный ресурс] // URL: http://zoom.cnews.ru/rnd/article/top/ Режим доступа: свободный (дата обращения 07.07.15).

THE ALUMINIUM-ION BATTERIES AS THE FUTURE OF ELECTRIC CARS

Ismagilov T., Fatykhov D.

fatykhovismagilov@mail.ru

Supervisor: O. Rozhko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

An alternative energy source for electric vehicles is presented. And also, there is a comparison with other types of batteries.

УДК 629.113

ЭЛЕКТРОМОБИЛИ КАК БУДУЩЕЕ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ

Хайруллин Б.Х., Вотяков И.О.

bulat.khairullin00@mail.ru, ilya-vot@mail.ru

Научный руководитель: Р.Ф. Юнусов, канд. техн. наук, доцент

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

Статья посвящена электромобилю, его устройству, преимуществах и недостатках. Указаны перспективы развития данной отрасли транспортной промышленности.

Открытие электрического тока Майклом Фарадеем в 1831 обеспечило толчок в промышленности, задав новый вектор развития различных технологий. Последующие изобретения и научные прорывы вызвали резонанс среди инженеров, которые всячески пытались использовать полученные знания об электричестве в различных областях жизни человека. Их попытки увенчались успехом во многих областях науки, в том числе и в автомобилестроении. Уже в 1841 году был придуман первый электромобиль, изобретателем которого стал русский инженер Ипполит Романов. Этот автомобиль представлял собой обычную тележку с электромотором, которая вмещала в себя 17 пассажиров. Интерес к данному типу авто по ходу истории то возрастал, то пропадал, в зависимости от появления новых технологий, цен на топливо и других факторов[1].

Устройство электромобиля

На сегодняшний день электромобиль до сих пор проходит стадии развития и укрепления на дороге, так как технология хоть и считается достаточно перспективной, до сих пор не является обыденной.

Но что представляет собой электромобиль? Я буду рассматривать его устройство на примере TeslamodelS– электромобиля, изобретателем которого является Илон Маск [2]. И первое, с чего стоит начать, это изобретение Николы Тесла - асинхронный двигатель или, как называют его в народе, “асинхронник”. Он имеет две основные части: ротор и статор. Ротор представляет собой набор электропроводящих стержней с вставленными между ними короткозамкнутыми кольцами, он находится внутри статора. На статор происходит подача трёхфазного переменного тока, который, проходя через обмотки, создает вращающиеся магнитное поле, заставляющее вращаться ротор. Преимущество асинхронного двигателя в том, что скорость его вращения зависит от частоты тока. Этот факт позволяет легко контролировать скорость электромобиля. Из-за высокой выходной мощности и более

скоростного крутящего момента асинхронный двигатель, в отличие от ДВС, можно прикрепить прямо к ведущим колёсам. Эта особенность избавляет электромобиль от коробки передач, а также от ряда других деталей, за счет чего двигатель электромобиля более компактен, обладает большей мощностью по сравнению с ДВС и имеет меньший вес [3].

Но что питает асинхронный двигатель? Очевидно, что аккумулятор. Но он подаёт на двигатель постоянный ток, тогда как двигателю необходим переменный. Решением этого вопроса служит инвертор. Инвертор также позволяет менять амплитуду тока, то есть скорость автомобиля [4]. Теперь рассмотрим аккумуляторную батарею. По сути, она ничем не отличается от тех, которые мы используем в повседневной жизни – просто большой набор батареек, соединенных параллельно, между которыми проходит хладагент, охлаждающий систему. Элементы объединены в съёмные модули. Эти модули объединены в блок, который представляет, по сути, днище машины. Следует отметить, что достижения нанотехнологий [5-9] в области изготовления аккумуляторов для электромобилей позволяют снизить их цену и значительно увеличить дальность пробега. Из-за низкого расположения центр тяжести у автомобиля снижается, что повышает её устойчивость и надёжность на дороге [10].

Теперь вернёмся к трансмиссии. Как было сказано ранее, коробка передач для машины не требуется, так как передача там всего одна. Конкретно в модели TeslamodelS она уменьшает выходную скорость двигателя в 2 этапа. Переход к задней передаче в электромобиле также достаточно просто: для этого достаточно изменить порядок чередования фаз в двигателе. Второй компонент трансмиссии – свободный дифференциал. Обычно используется дифференциал с повышенным внутренним сопротивлением, но преимущество свободного дифференциала в данном случае в том, что он более надежен и передает больший крутящий момент. Проблема регулирования тягового усилия, возникающая при свободном дифференциале, может быть эффективно преодолена с помощью двух методов: селективное торможение и быстрое кратковременное отключение от источника мощности. В ДВС такие отключения не достаточно оперативны, однако в асинхронном двигателе возможно отключение питания, что является эффективным средством контрольного тягового усилия. В остальном устройство электромобиля схоже с устройством привычных нам автомобилей на бензиновом или дизельном топливе.

Преимущества электромобиля

Но у электромобиля есть и другие преимущества. Электричество гораздо дешевле топлива, а значит и зарядка автомобиля будет стоить меньше, чем заправка. Также упрощённое устройство делает дешевым техническое обслуживание авто. Но кроме этих значительных преимуществ есть куда более важное – электромобиль экологичен. Малое количество вредных выбросов в атмосферу и делает его одним из главных претендентов на место автомобилей будущего. Считается, что уже к 2025 году он заменит типичный автомобиль на ДВС.

Недостатки электромобиля

Но у данного транспорта, как и у всего на свете, есть свои минусы. Без зарядки автомобиль может проезжать всего лишь до 150 километров, а время зарядки занимает до 6 часов [11]. Из-за этого недостатка владельцам авто придётся грамотно продумывать маршрут, чтобы банально не встать где-то посередине дороги. Ситуация также осложняется тем, что электромобили еще не вошли в обиход и станции для подзарядки можно найти далеко не везде. Именно поэтому данный тип авто можно встретить только в крупных городах и мегаполисах. И еще один фактор, препятствующий развитию этой автомобильной отрасли – цена самого автомобиля. Она очень высока, далеко не каждый даже финансово обеспеченный гражданин сможет позволить себе столь дорогую роскошь.

Заключение

Что ж, в целом, можно сказать, что я вижу в электромобиле будущее. Нам и нашей планете необходим чистый воздух, поэтому сокращение отходов человека в ближайшее

время станет одной из ключевых задач, а значит, возрастет популярность электромобилей. Также я считаю, что их стоимость столь высока лишь из-за недоступности и совершенно иной технологии в данной области. Эти вопросы решаемы, здесь необходимо лишь время. Я считаю, что право покупать или не покупать данный тип авто остается лично за каждым человеком. Кто-то предпочитает идти в ногу со временем и тратить огромные средства, чтобы быть впереди прогресса, а кто-то использует то, что проверено, что привычно и знакомо, не торопясь связывать себя с чем-то не до конца изученным и понятным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/электромобиль
2. https://www.tesla.com/models
3. https://hevcars.com.ua/reviews/dvigatel-elektromobilya/
4. http://electricalschool.info/econom/721-chastotnyjj-preobrazovatel-dlja.html
5. *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.
6. *Юнусов Р.Ф., Кормильцев Н.В.* Электронный курс по наноматериалам и нанотехнологиям//Современные научные исследования и разработки. 2016. № 3 (3). С. 135-141.
7. *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.
8. *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.
9. *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.
10. http://www.insidecarelectronics.com/akkumulyatornie-batarei-v-elektromobile-emkost-zaryadka-potencial-dalnost-hoda/
11. http://systemsauto.ru/engine/electric-car.html

ELECTRIC CARS AS THE FUTURE OF AUTOMOBILE INDUSTRY

Hayrullin B., Votyakov I.
Supervisor: R. Yunusov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The article is devoted to an electric car, its device, advantages and disadvantages. The prospects for the development of this transport industry are indicated.

УДК 656.01

СИСТЕМА ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ ПРИ АВАРИЯХ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Хамадеев Р.Р., Сахипзадин Н.Р., Джалимов М. Р.
rustem.khamadeev@gmail.com
Научный руководитель: Р.И. Салимов, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной статье рассмотрена система экстренного реагирования при авариях для беспилотных транспортных средств. Разработана и описана функциональная схема данной системы. Описан алгоритм функционирования системы экстренного реагирования при авариях беспилотных транспортных средств.

В современном мире активно развиваются технологии для упрощения условий жизни и труда человека. Разработка и создание беспилотных транспортных средств является одной из них. Беспилотные автомобили могут применяться как в грузовых, так и в гражданских перевозках. При разработке беспилотных транспортных средств большое внимание уделяется безопасности пассажиров и других участников дорожного движения. В беспилотных автомобилях применяются системы предотвращения аварий, но все же они иногда случаются. Для уменьшения последствий дорожно-транспортных происшествий, посредством уменьшения времени подачи сигнала об дорожно-транспортном происшествии в экстренных оперативных служб, используется система экстренного реагирования при авариях. На дорогах Российской Федерации данная система работает на основе навигационной системы «ГЛОНАСС».

Система экстренного реагирования при авариях беспилотных транспортных средств – это система экстренного реагирования, использующая сигналы навигационной спутниковой системы, осуществляющая доставку сообщений о дорожно-транспортном происшествиях и иных чрезвычайных происшествиях на автомобильных дорогах и получение от них сообщений о результатах реагирования на происшествия. В разрабатываемой системе используется навигационная система «ГЛОНАСС»[1]. Алгоритм работы системы экстренного реагирования при авариях беспилотных транспортных средств приведен на рисунке 1. Данная система может устанавливаться как на пассажирских беспилотных автомобилях, так и на грузовых беспилотных автомобилях. Инициализация работы системы начинается с сигнала нажатия кнопки «тревога» или поступления сигнала с датчиков. При поступлении данных сигналов осуществляется вызов оператору «ЭРА-ГЛОНАСС» и оповещение владельца беспилотного транспортного средства. Вызов оператора состоит в осуществлении последовательных процессов по автоматическому формированию экстренного сообщения о дорожно-транспортном происшествии и передаче его оператору системы «ЭРА-ГЛОНАСС» для последующей обработки и доведения до экстренных служб. В момент подачи экстренного вызова, независимо от того нажата ли кнопка “Тревога” или сигнал пришел с датчиков, осуществляется автоматическое формирование набора данных о дорожно-транспортном происшествии, которая передается в составе экстренного сообщения. В состав этого набора данных включается информация о координатах, где находится автомобиль и параметрах движения беспилотного транспортного средства и времени аварии, VIN-коде беспилотного транспортного средства, а также другая информация, необходимая для осуществления экстренного реагирования. При экстренном вызове осуществляется установление голосового соединения автомобиля с центром системы «ЭРА-ГЛОНАСС» и передача в рамках установленного соединения набора данных о дорожно-транспортном происшествии в составе экстренного сообщения. Экстренный вызов системы «ЭРА-ГЛОНАСС» передается в ближайший к беспилотному транспортному средству, центр оператора подвижной связи по каналам сети подвижной связи GSM, UMTS. При неудачной попытке передачи сообщения от беспилотного автомобиля посредством использования тонального модема, экстренное сообщение

передается оператору системы «ЭРА-ГЛОНАСС» посредством SMS-сообщения[2].При отсутствии ответа на голосовой вызов оператора, автоматически на место аварии вызываются оперативные службы спасения.

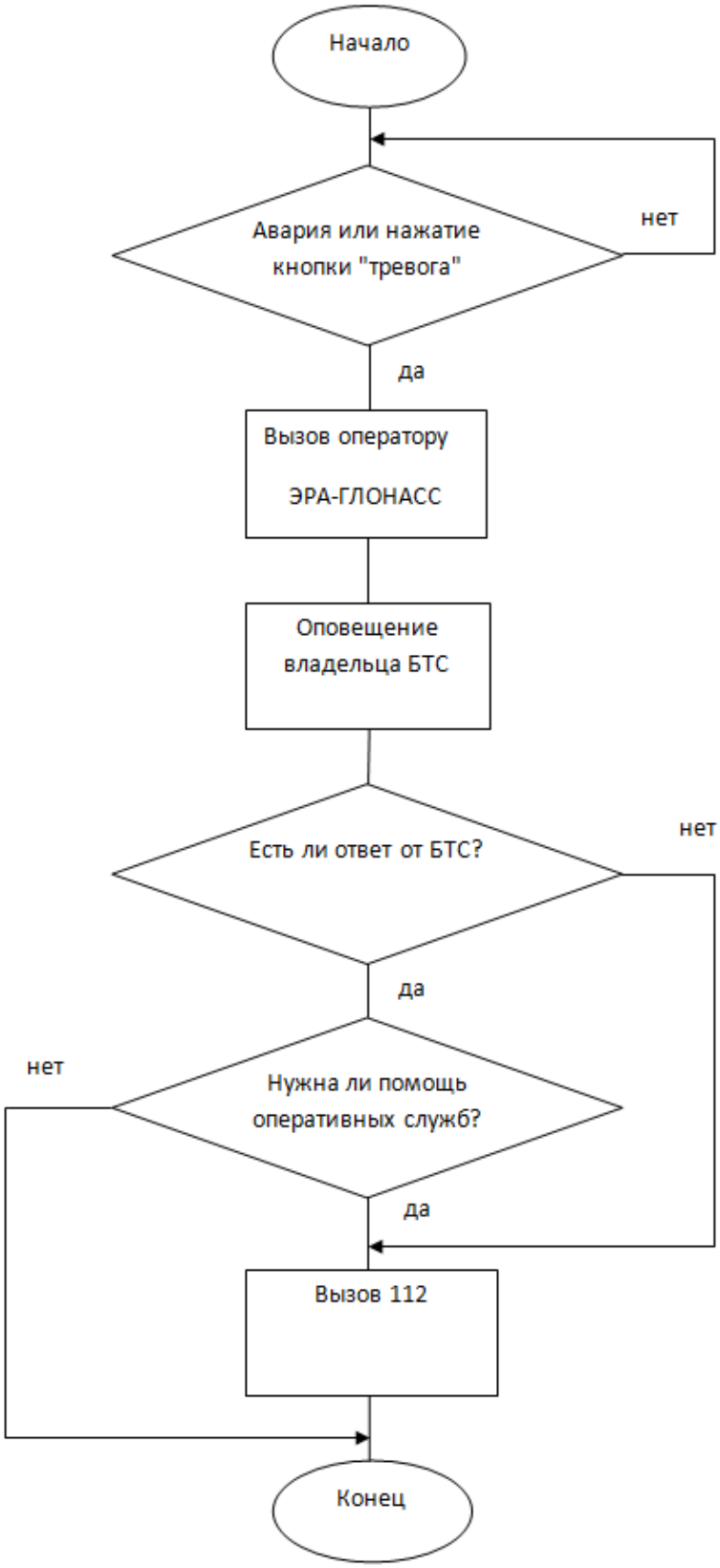


Рис. 1. Алгоритм работы системы экстренного реагирования при авариях беспилотных автомобилей

Датчик удара и кнопка посылает сигнал на логический элемент «ИЛИ», при наличии хотя

бы одного из этих сигналов, логический элемент «ИЛИ» посылает сигнал на микроконтроллер, которое постоянно обменивается данными с навигационной системой. Набор данных о параметрах поездки и место нахождения автомобиля записывается в микроконтроллер. При поступлении сигнала, микроконтроллер через передатчика отправляет сообщение оператору и владельцу транспортного средства. Оператор с помощью голосовой связи, удостоверяется в достоверности информации об дорожно транспортном происшествии и вызывает на место аварии службы экстренного реагирования. Функциональная схема системы экстренного реагирования при аварии беспилотного транспортного средства, показана на рисунке 2, где: Д - датчики удара; К – кнопка подачи сигнала тревоги; НС – Навигационная система; МК – микроконтроллер ; П – передатчик; СР – устройство “Свободные руки”; О – оператор «Эра – ГЛОНАСС»; В – владелец БТС; ТМ – тональный модем; ЭС – экстренные службы МЧС.

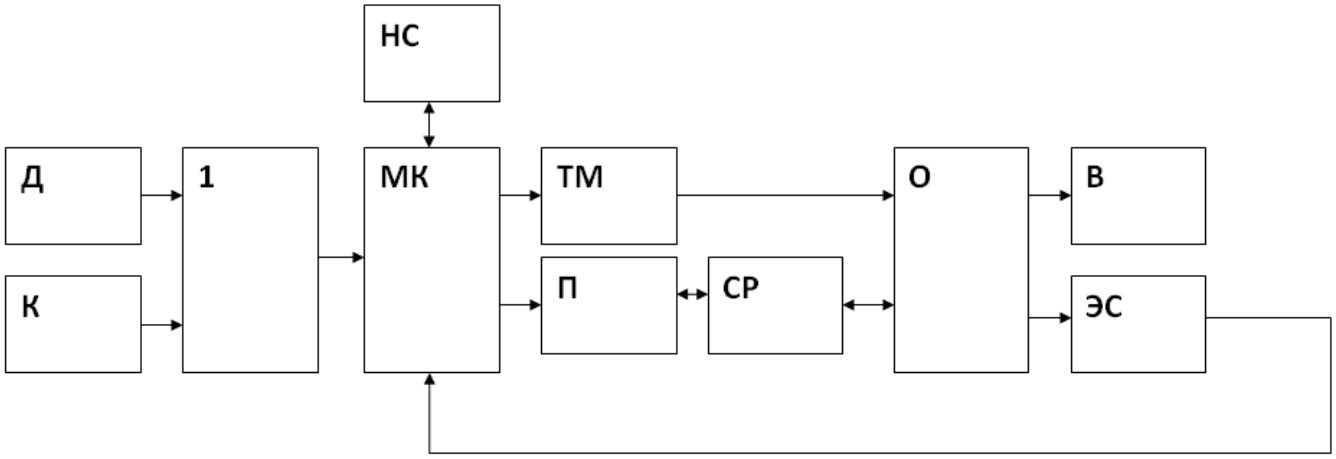


Рис. 2. Функциональная схема системы экстренного реагирования
при аварии беспилотного транспортного средства

В данной статье рассмотрена система экстренного реагирования при аварии беспилотного транспортного средства, на основе навигационной системы «ГЛОНАСС», построен алгоритм работы системы и его функциональная схема. Данная система является очень перспективной для разработки и внедрения на беспилотных автомобилях. Она позволяет сократить время оповещения о дорожно-транспортном происшествии, тем самым увеличивая шансы на спасение людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Система ЭРА-ГЛОНАСС [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.zr.ru/content /amp/articles/9049 (06.06.2019).

2. ГОСТ 54721-2011. Глобальная навигационная спутниковая система. Система экстренного реагирования при авариях./ Москва Стандартинформ, 2012 г. – 11 с.

EMERGENCY RESPONSE SYSTEM
FOR UNMANNED VEHICLE ACCIDENTS.

Khamadeev R., Sahipzadin N., Dzhalimov M.
rustem.khamadeev@gmail.com
Supervisor: R. Salimov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

This article consider system emergency response accident for unmanned vehicles. Designed and described functional scheme of this system. Described algorithm functioning of the system emergency response accident unmanned vehicles.

УДК 621.396.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОНВЕРТОРА В ДВИГАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Чувиляев О.В.
chyvilyevoleg@mail.ru
Научный руководитель: Э.Ф. Хакимзянов, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной работе рассматривается моделирование работы конвертора в двигательном режиме электрической машины, а именно синхронной машины переменного тока. В ходе проделанной работы пыли получены графики изменения напряжения на суперкондесаторе, график напряжения на нагрузке, график изменения потребляемого тока от суперконденсатора, график тока потребляемого нагрузкой.

В настоящее время сложно представить какую либо электрическую схему, не содержащую в себе конвертор тока или напряжения. Конверторы используются в различных схемах, но в данной работе хотелось бы показать, результаты моделирования работы конвертора в двигательном режиме электрической машины.

Рассмотрим электромеханическую систему, содержащую синхронный электродвигатель с возбуждением от постоянных магнитов, преобразователь частоты (ПЧ), конвертор и суперконденсатор (C_1). На рисунке 1 показана функциональная схема системы.

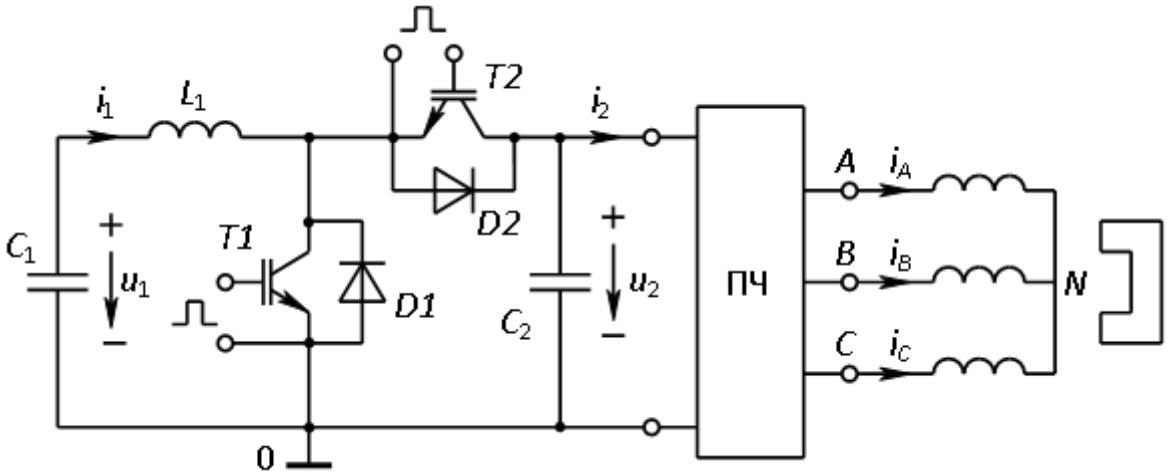


Рис. 1. Функциональная схема системы

Накопителем электрической энергии является суперконденсатор C_1. Работа конвертора заключается в преобразовании постоянного напряжения u_1 в постоянное напряжение u_2в случаи прямого потока энергии. Токи в этом случаи i_1 и i_2 положительные, синхронная машина работает в двигательном режиме.

В случаи обратного потока энергии работа конвертора заключается в преобразовании тока i_2 в ток i_1. Токи в этом случаи отрицательные, т.е текут в обратном направлении, синхронная машина работает в генераторном (рекуперативном) режиме.

В двигательном режиме работают транзистор *T1* и диод *D2*. Рассмотрим режим широтно-импульсной модуляции. Период импульсов обозначим буквой τ, а длительность импульсов – $\tau_и$. Относительную длительность импульсов обозначим буквой $\gamma_и$, $\gamma_и = \tau_и/\tau$.

Схема замещения работы конвертора в двигательном режиме приведена на рисунке 2. Здесь L_1 –индуктивность катушки, накапливающей энергию в магнитном поле; r_1 –активное сопротивление этой катушки; C_2 – буферный конденсатор; L_2, r_2 – индуктивность и активное сопротивление цепи, имитирующей ПЧ вместе с СД; e_2 – эквивалентная ЭДС.

Рассмотрим стационарный режим работы, когда $u_1 \approx \text{const}; \; i_2 \approx \text{const}.$

За промежуток времени $\tau_и$ транзистор *T1* открыт. Справедливы уравнения:

$$L_1 \frac{di_1}{dt} = u_1 - r_1 i_1 - u_{\text{ò}};$$

$$C_1 \frac{du_1}{dt} = -i_1;$$

$$L_2 \frac{di_2}{dt} = u_2 - e_2 - r_2 i_2;$$

$$C_2 \frac{du_2}{dt} = -i_2.$$

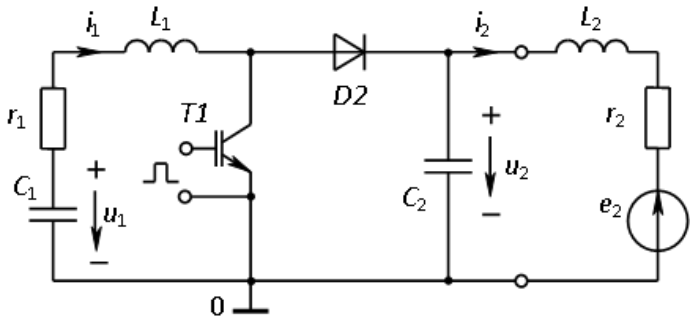


Рис. 2. Схема замещения при двигательном режиме работы

В течение время $\tau_{\text{и}}$ ток i_1 и напряжение u_2 получают приращения

$$\Delta' i_1 = \tau_{\text{è}} (u_1 - r_1 i_1 - u_{\text{ò}}) / L_1;$$

$$\Delta' u_2 = -\tau_{\text{è}} i_2 / C_2.$$

Из четырех переменных состояния выбраны именно эти величины, потому что две другие пропорциональны интегралам от непрерывных функций и являются непрерывно дифференцируемыми.

За время паузы $\tau_{\text{п}} = \tau - \tau_{\text{и}}$ транзистор *T1* заперт. За счет энергии, которая была накоплена в катушке L_1, ток i_1 продолжает течь через диод *D2*. Справедливы уравнения:

$$L_1 \frac{di_1}{dt} = u_1 - r_1 i_1 - u_{\text{ä}} - u_2;$$

$$C_1 \frac{du_1}{dt} = -i_1;$$

$$L_2 \frac{di_2}{dt} = u_2 - e_2 - r_2 i_2;$$

$$C_2 \frac{du_2}{dt} = i_1 - i_2.$$

За время паузы $\tau_{\text{п}}$ ток i_1 и напряжение u_2 получают приращения

$$\Delta'' i_1 = \tau_{\text{ï}} (u_1 - r_1 i_1 - u_{\text{ä}} - u_2) / L_1 = -\Delta' i_1;$$

В случаи необходимости стабилизации напряжения u_2 на входе ПЧ, полученные выше равенства позволяют определить относительную длительность паузы $\gamma_{\text{п}}$ и величину тока i_1:

$$\gamma_{\text{ï}} (u_2 + u_{\text{ä}} - u_{\text{ò}}) = u_1 - r_1 i_2 / \gamma_{\text{ï}} - u_{\text{ò}};$$

$$\gamma_{\text{ï}}^2 (u_2 + u_{\text{ä}} - u_{\text{ò}}) - \gamma_{\text{ï}} (u_1 - u_{\text{ò}}) + r_1 i_2 = 0;$$

$$\gamma_{\text{ï}} = \frac{(u_1 - u_{\text{ò}}) + \sqrt{(u_1 - u_{\text{ò}})^2 - 4r_1 i_2 (u_2 + u_{\text{ä}} - u_{\text{ò}})}}{2(u_2 + u_{\text{ä}} - u_{\text{ò}})}.$$

Для учета изменения напряжения на супер конденсатореu_1 необходимо рассмотреть соотношение:

$$p_1 = u_1 i_1 = \text{const}.$$

Продифференцировав его, получаем:

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{du_1}{dt} i_1 + u_1 \frac{di_1}{dt} = -\frac{i_1^2}{C_1} + u_1 \frac{di_1}{dt} = 0.$$

Отсюда вытекают равенства:

$$\frac{di}{dt} = \frac{i_1^2}{C_1 u_1};$$

$$\Delta' i_1 + \Delta'' i_1 = \tau \frac{i_1^2}{C_1 u_1}.$$

Последнее равенство может улучшить стабилизацию напряжения u_2.

Для исследования работы конвертора при прямой передаче энергии было проведено моделирование в программе Matlab-Simulink. Схема моделирования работы конвертора в прямом направлении представлена на рисунке 3. Время моделирования составляет 2.5 с.В состав схемы входят следующиеэлементы:

C_1– суперконденсатор;

C_2–выходной конденсатор постоянного тока;

L_1– дроссель;

DCVS – источник постоянного напряжения;

L_2– сопротивление нагрузки;

PulseGenerator–источник импульсного сигнала (формирует прямоугольные импульсы);

IGBT1, IGBT2 – транзисторы;

D1, D2 – диоды;

Моделирование проводилось при параметрах элементов, приведенных в таблице 1:

Таблица 1

Параметры элементов

Элемент	Описание	Значение	Ед. изм
L_1	Индуктивность	0,02	Гн
L_1	Начальный ток катушки индуктивности	125	А
C_1	Емкостьсуперконденсатора	3	Ф
C_1	Активное сопротивление суперконденсатора	0,05	Ом
C_1	Начальное напряжение на суперконденсаторе	600	В
L_2	Активное сопротивление нагрузки	4	Ом
L_2	Индуктивностьнагрузки	0,3	Гн
L_2	Начальный ток катушки индуктивности	125	А
C_2	Емкость конденсатора	1	Ф
C_2	Начальное напряжение конденсатора	600	В
DC VS	Напряжение источника	100	В

НазначениеПИД-регулятора заключается в управлении транзистором IGBT1 конвертора с целью поддержания постоянного напряжения 600 В на выходе конвертора. Состояние транзистора IGBT2 при моделировании не важно, так как ток протекает через диод D2.

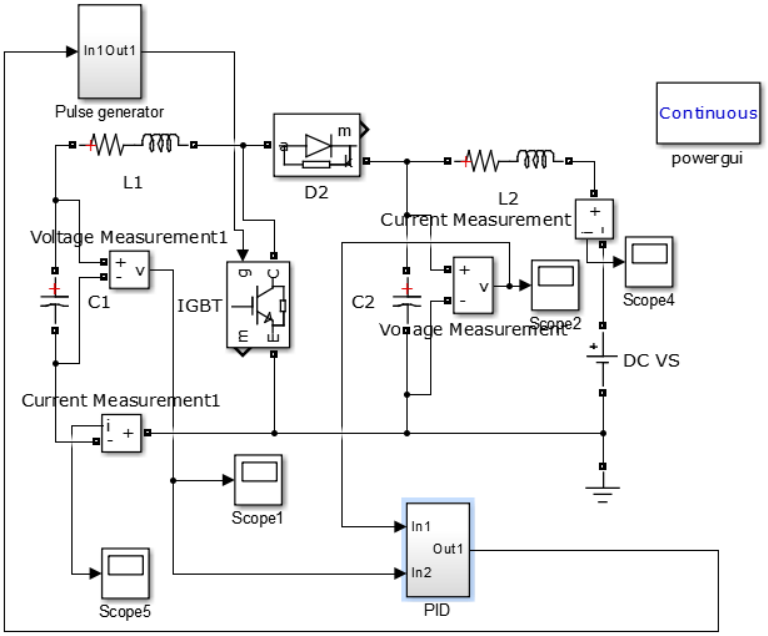


Рис. 3. Схема моделирование работы конверторав двигательном режиме

Главной задачей ПИД-регулятора является поддержания заданного напряжения нанагрузке на уровне заданным регулятором, т.е.600В.

В ходе моделирования были получены следующие результаты:

Графики напряжений на суперконденсатореи нагрузке показаны на рисунках 4 и 5.

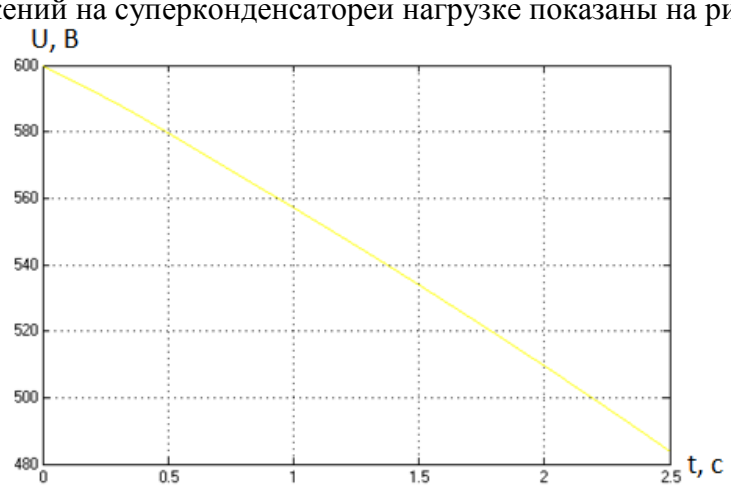


Рис. 4. График изменения напряжения на суперконденсаторе

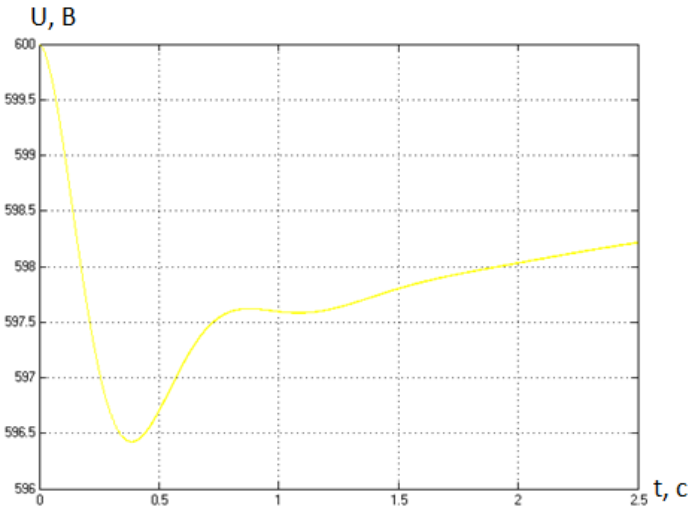


Рис. 5. График напряжения на нагрузке

Из рисунка 5 видно, что суперконденсатор разряжается от первоначального значения 600 В до значения 484 В. Из рис. 3.13 следует, что напряжение на нагрузке на промежутке времени от 0 до 0,4 с падает, однако далее следует стабилизация напряжения до 598.2 В.

График тока, потребляемого от суперконденсатора, и ток нагрузки показаны на рисунках 6 и 7 соответственно.

Из рисунка 6 видно, что ток, потребляемый от суперконденсатора растет до 158А, т.к. напряжение суперконденсатора падает, а мощность потребляемая нагрузкой остается постоянной. Из рисунка 7 видно, что ток нагрузкина промежутке времени от 0 до 0,4с падает, однако далее следует стабилизация и он составляет 124.55А.

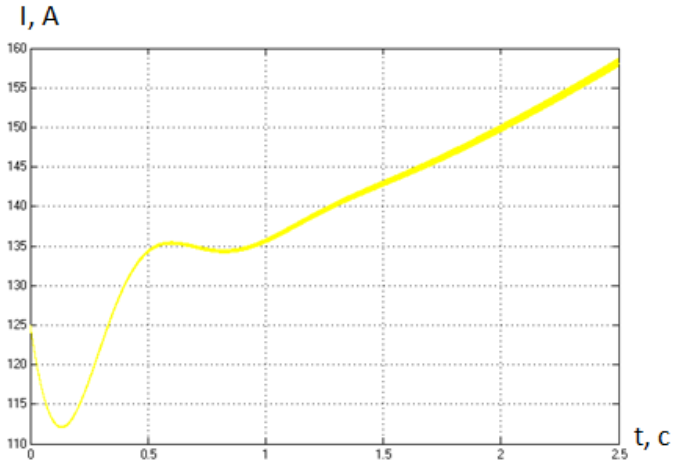


Рис. 6. График изменения потребляемого тока от суперконденсатора

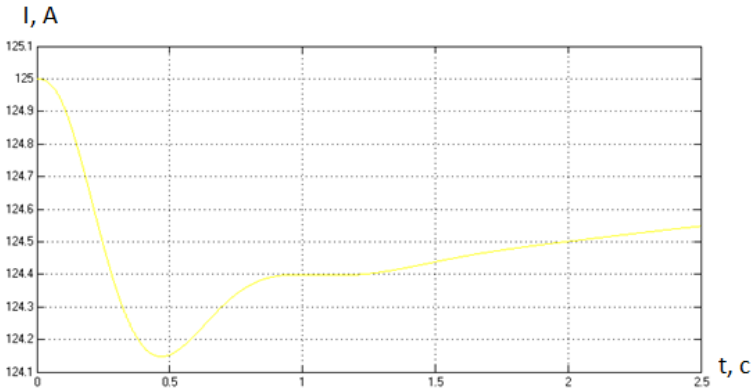


Рис. 7. График тока, потребляемого нагрузкой

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

4. *Гельман М.В., ДудкинМ.М., Преображенский К.А.*, Преобразовательная техника, Челябинск:Издательский центр ЮУрГУ, 2009.

5. *Джюджи Л., Пелли Б.* Силовые полупроводниковые преобразователи частоты: Теория, характеристики, применение. Пер. с англ.– М.: Энергоатомиздат, 1983.– 400 с.

6. *Трещ А.М.* Моделирование солнечных батарей в среде Matlab/Simulink, Минск: Белорусский нац. техн. университет, 2013.

SIMULATION OF THE CONVERTER IN THE MOTOR MODE OF THE ELECTRIC MACHINE

Chuvilyaev O.

ChyvilyevOleg@mail.ru

Supervisor: E. Khakimzyanov, Associate Professor

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

This paper discusses the modeling of the operation of the converter in the motor mode of an electric machine, namely a synchronous AC machine. In the course of the work done by the dust, graphs of the voltage on the supercondenser, a graph of the voltage on the load, a graph of the current consumption from the supercapacitor, and a graph of the current consumed by the load were obtained.

УДК 621.351

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДА В СРАВНЕНИИ С ДРУГИМИ ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Чугунов Д.Н.
chugunov_smr@inbox.lv
Научный руководитель: В.Г. Гольдштейн
(Самарский государственный технический университет, г. Самара)

В статье рассмотрены преимущества применения водорода по сравнению с традиционными энергоносителями. Показана энергоэффективность и теплотворная способность рассматриваемого энергоресурса. Произведено сравнение выбросов вредных веществ для различных видов топлива.

Водород самый эффективный энергоноситель, в переводе с латыни «hydrogenium» – порождающий воду вещество, наиболее распространенное в окружающем мире. Это – 90% от всех атомов и 75% от всей массы вселенной в различных соединениях. В то же время в чистом виде он практически отсутствует. По своей энергоэффективности водород в 2 раза и более выше природного и других горючих газов и 3 раза для углеводородных энергоносителей. В водородной энергетике наиболее чистыми составляющими частями является большинство процессов непосредственного потребления, даже там, где производится сжигание водорода, как топлива. В большинстве случаев очевидное преимущество – преобразование его химической энергии в другие виды энергии, в частности, в электрическую в водородных топливных элементах (ВТЭ) происходит без реакции горения, что и дает высокий КПД: у худших вариантов 45-50%, у лучших – 65-70%. А КПД лучших двигателей внутреннего сгорания – 30-35%.

Но при констатации высокого КПД ВТЭ надо иметь в виду то, что при промышленном производстве и получении водорода, например, с помощью газовой конверсии угля и парового риформинга природного газа в больших количествах выделяются углекислый, сернистый и другие экологически вредные выбросы. В частности, при использовании природного газа – метана CH_4 в соответствие с химической реакцией: $CH_4 + H_2O = + 4\ H_2$ имеет место весовое соотношение: 15,4% – H_2 и 84,6% – CO_2. Конечно, объемное соотношение – совсем другое, но факт сам по себе – весьма показательный. При биохимическом способе получения водорода, в среднем, весовая разница в 10 ÷ 30 раз – в пользу CO_2. Похожие показатели – при реализации газовой конверсии угля и других промышленных технологий.

Характерны сравнение показателей по транспорту энергии из энергоносителей (ЭиЭ) для водорода и по протяженным линиям электропередачи в целом и в распределительных сетях. Передача водорода по трубопроводам дешевле: на расстояние 100 км – на 20%, при расстоянии 1500 км – в два раза, а при непосредственном распределении потребителям (до 25 км) – в пять раз.

Благодаря высокой физико-химической активности водорода достаточно его 5÷10% добавки к углеводородному топливу, например бензину, чтобы снизить токсичность выхлопных газов на 65÷75%, а расход топлива снизить на 30÷40%. При сгорании водорода в кислороде токсичные выбросы отсутствуют, а при сгорании в воздухе намного ниже, чем у ДВС на бензине [1].В частности, использование водорода в автомобилях, составляющих значительную часть общего потребления ЭиЭ, позволит устранить один из основных недостатков их двигателей: резкое снижение КПД с 30 до 10% на частичных нагрузках в условиях городской эксплуатации. Водород даже при небольших добавках 1 ÷ 6% к бензину

уже позволяет поднять топливную экономичность на частичных нагрузках на 30 ÷ 40%. Это достигается благодаря тому, что предельная величина воспламенения для водорода более широкая, чем для бензина. Пределы воспламенения в процентах по объему для водорода находятся в интервале 4,7 ÷ 74,2, а для бензина – 0,59 ÷ 6,0.

Как топливо водород имеет высокое содержание энергии на единицу массы 120,7 МДж/кг, что выше любого органического топлива [2]. Согласно [3] один литр воды H_2O содержит около 1800 литров водорода с удельной теплотой сгорания Q=10,78 кДж/л ($1.21 \cdot 10^8$ Дж/кг). Для сравнения [1] удельная теплота сгорания торфа составляет $8.1 \cdot 10^6$ Дж/кг, бытового газа – $13.25 \cdot 10^6$ Дж/кг, бензина – $44 \cdot 10^6$ Дж/кг, ядерного топлива $824 \cdot 10^{11}$ Дж/кг (Табл.1).

Таблица 1

Сравнительная таблица теплотворности некоторых видов топлива

Вид топлива	Ед. изм.	Удельная теплота сгорания			Эквивалент		
		кКал	кВт	МДж	Природный газ, $м^3$	Диз. топливо, л	Мазут, л
Электроэнергия	1 кВтч	864	1,0	3,62	0,108	0,084	0,089
Дизельное топливо	1 л	10300	11,9	43,12	1,288	-	1,062
Мазут	1 л	9700	11,2	40,61	1,213	0,942	-
Керосин	1 л	10400	12,0	43,50	1,300	1,010	1,072
Нефть	1 л	10500	12,2	44,00	1,313	1,019	1,082
Бензин	1 л	10500	12,2	44,00	1,313	1,019	1,082
Газ природный	1 $м^3$	8000	9,3	33,50	-	0,777	0,825
Газ сжиженный	1 кг	10800	12,5	45,20	1,350	1,049	1,113
Метан	1 $м^3$	11950	13,8	50,03	1,494	1,160	1,232
Пропан	1 $м^3$	10885	12,6	45,57	1,361	1,057	1,122
Этилен	1 $м^3$	11470	13,3	48,02	1,434	1,114	1,182
Водород	1 $м^3$	28700	33,2	120,00	3,588	2,786	2,959
Уголь каменный	1 кг	6450	7,5	27,00	0,806	0,626	0,665
Торф	1 кг	2900	3,6	12,10	0,363	0,282	0,299
Торф брикеты	1 кг	4200	4,9	17,58	0,525	0,408	0,433

Количество выбросов оксида азота у водорода составляет 1,2%, для сравнения у природного газа 24%, а у бензина 95%. Объем выбросов диоксида углерода ещё меньше у водорода 0,4%, у природного газа 42%, у бензина 96%. Наибольшее количество выбросов вредных веществ для водорода составляет монооксид углерода 16%, для природного газа 91%, а для бензина 97% (Рис.1.).

Надвигающееся экологическое состояние планеты и истощения ресурсов углеводородного сырья, подталкивают использовать водород, не только как абсолютно безвредное топливо для средств транспорта, обогрева жилищ в удаленных регионах, в автономных и стационарных источниках вторичной энергии, но и в мощном промышленном энергообеспечении.

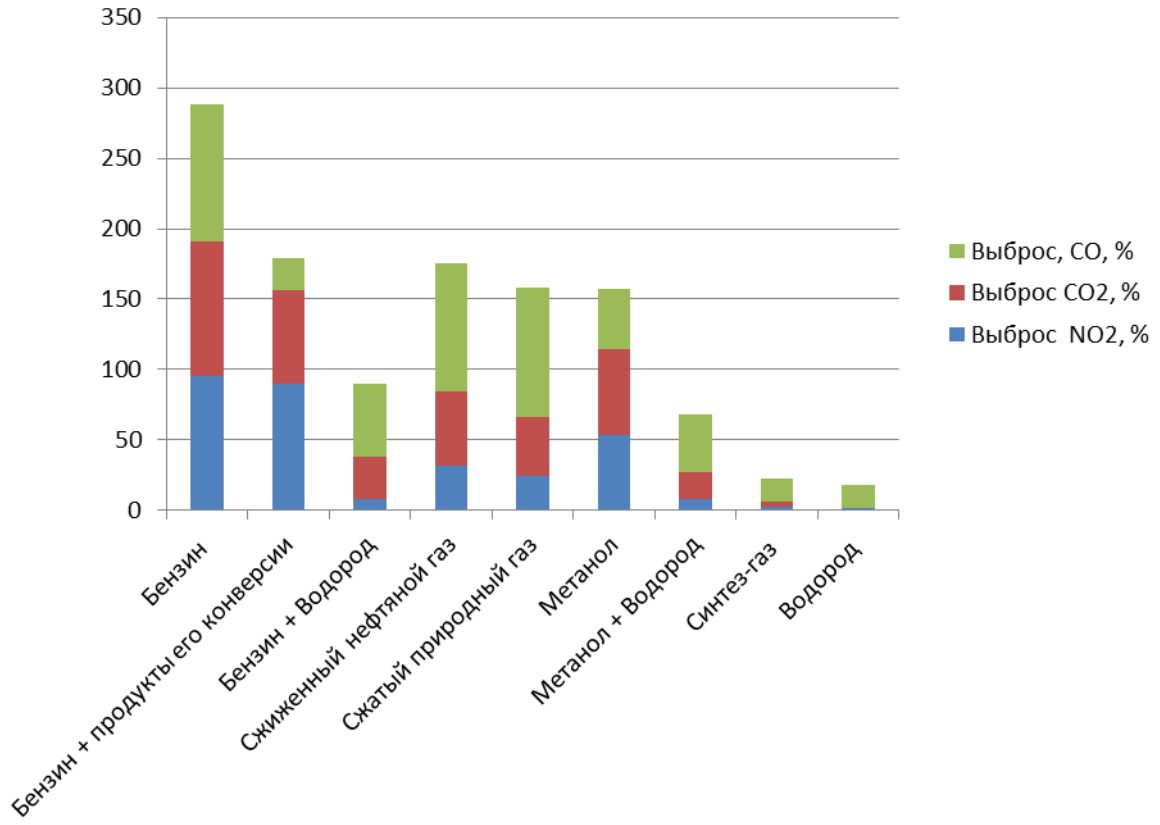


Рис. 1. Сравнение выбросов для различных видов топлива

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Семенов П.В., Звонов А.А.* Водородный генератор электрической энергии. Патент RU 2596605. http://www.findpatent.ru/patent/259/2596605.html

2. *Столяревский А. Я.* Хемотермические технологии аккумулирования энергии ядерныхэнергоисточников. Дисс. д.т.н. по спец. 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации». Российский научный центр «Курчатовский институт». М. 2009 http://www.allbest.ru/.

3. *Р.В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В. Тюльпа.* Водород в энергетике : учеб.пособие /— Екатеринбург : Изд-во Урал.ун-та, 2014.

ANALYSIS OF HYDROGEN APPLICATION IN COMPARISON WITH OTHER ENERGY RESOURCES FOR POWER SUPPLY PURPOSES

Chugunov D.
chugunov_smr@inbox.lv
Supervisor: V. Goldstein
(*Samara State Technical University, Samara)*

The article discusses the advantages of using hydrogen compared to traditional energy sources. The energy efficiency and calorific value of the energy resource under consideration is shown. Comparison of emissions of harmful substances for different types of fuel.

ПОДСЕКЦИЯ 5.6

ВОПРОСЫ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 629.735.017.083

АНАЛИЗ ЗАТРАТ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Аль Дарабсе А.М.Ф., Маркова Е.В., Миллер В.В.
amersamarah4@gmail.com
Научный руководитель: Д.Г. Вольсков, канд. техн. наук, доцент
(Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск)

В этой статье анализируются ключевые факторы прямых затрат на обслуживание, а затем обсуждаются методы снижения прямых затрат на обслуживание. В этой статье предлагается концепция надежности и технического обслуживания. Наследование предложенной идеи свидетельствует о положительном сигнале снижения прямых затрат на техническое обслуживание и повышения врожденной надежности самолета.

Основой технического обслуживания воздушного судна является обеспечение полностью исправного рейса, когда это требуется авиакомпанией при минимальных затратах. Расходы на техническое обслуживание, как правило, составляют 10-20 процентов эксплуатационных расходов [1], связанных с воздушным судном, в которых прямые расходы на техническое обслуживание являются значительным вкладом в эксплуатацию воздушного судна. Прямые затраты на техническое обслуживание относятся к трудовым и материальным затратам, непосредственно связанным с выполнением технического обслуживания. Сегодняшний рыночный сценарий препятствует агентствам по техническому обслуживанию воздушных судов столкнуться с необходимостью минимизировать расходы на эксплуатацию. Целью данной статьи является определение методов анализа и снижения прямых затрат на техническое обслуживание. Факторы, влияющие на прямые затраты на обслуживание, рассматриваются в данной статье [2]. Минимизация стоимости и максимальная доступность самолетов – это конструктивные факторы, которые рассматриваются в первую очередь в этой статье. Деятельность по техническому обслуживанию воздушных судов является неотъемлемой частью летной годности. Техническое обслуживание воздушного судна – это действия, которые могут восстановить предмет до исправного состояния и состоят из обслуживания, ремонта, модификации, капитального ремонта, проверки и определения состояния. Общая цель технического обслуживания заключается в предоставлении полностью исправного воздушного судна, когда это требуется авиакомпанией с минимальными затратами [3]. В настоящее время расходы на техническое обслуживание коммерческого самолета вносят существенный вклад в стоимость владения воздушного судна. Расходы на техническое обслуживание, как правило, составляют 10-20% эксплуатационных расходов, связанных с воздушным судном. Прямые затраты на техническое обслуживание (DMC) – это одна из основных составляющих затрат на техническое обслуживание, которая включает затраты на оплату труда и материалы, непосредственно затраченные на техническое обслуживание самолета или соответствующего оборудования. Целью данной работы является выяснение некоторых методов снижения DMC для коммерческих самолетов. В продолжении статья сначала анализирует ключевые факторы, влияющие на DMC [4], а затем обсуждает некоторые методы, которые могут уменьшить DMC, и, наконец, делает вывод [5].

Факторы, влияющие на DMC: Факторы, которые влияют на DMC, классифицируются как факторы проектирования и факторы окружающей среды. Около 70-85 процентов стоимости жизни коммерческого самолета определяется на этапе проектирования. Конструкция самолета зависит от многих факторов, таких как требования клиентов и производителей, протоколы безопасности, физические и экономические ограничения и т. Д. Минимизация затрат на поддержку самолета и максимальная доступность этого самолета лучше всего сделать, разработав продукт так, чтобы он был надежным и ремонтопригодны. Надежность (R) и ремонтопригодность (M) являются неотъемлемыми свойствами самолета [7].

В современных конструкциях системы уровень ложного удаления оборудования составляет 40% или выше в результате неоднозначных и трудоемких процедур испытаний.

Возрастающая сложность систем и технологий усложняет эффективную и своевременную диагностику неисправностей, способствуя тем самым проблемам обслуживания системы. Кроме того, неэффективная диагностика неисправностей может быть дорогостоящей с точки зрения времени простоя и затрат [6], а ситуации с «отсутствием неисправности (NFF)» значительно способствуют затратам на техническое обслуживание. Размер и общность парка, возраст и использование воздушного судна, поддержание стандарта и плана, частота проверочных интервалов, уровень субконтрактации, метод учета, колебания курсов валют во времени, местные ставки рабочей силы, а также соотношение расходов на приобретение расходных материалов и цен на материалы и другие переменные, связанные с организацией, влияют на DMC самолета [2].

Концепции надежности и техническое обслуживание (HTO). HTO подход работает на основе следующих концепций:

• между отказами (MTBF): MTBF указывает, что случайные сбои неизбежны в течение всего срока службы оборудования и приводят к значительному незапланированному обслуживанию, которое должно выполняться в повседневной работе авиакомпании. Внеплановое техническое обслуживание имеет тенденцию быть самым дорогим с точки зрения затрат на техническое обслуживание, потому что оно является незапланированным.

• Необслуживаемый период работы (MFOP): чтобы снизить затраты, был разработан новый метод, основанный на необслуживаемом периоде эксплуатации (MFOP) [5]. MFOP определяется как период работы, в течение которого оборудование должно быть в состоянии выполнить все назначенные задания без каких-либо действий по техническому обслуживанию и без каких-либо ограничений оператора из-за сбоев или ограничений системы. Во время MFOP необходимость любого технического обслуживания должна быть сведена к минимуму [4], а оборудованию разрешено выполнять только некоторые запланированные минимальные работы по техническому обслуживанию, такие как обслуживание рейсов [3].

• Период восстановления обслуживания (MRP): период восстановления обслуживания (MRP) следует сразу же после того, как MFOP. MRP определен как время простоя, в течение которого выполняется соответствующее плановое или корректирующее обслуживание, чтобы восстановить систему до ее полностью исправного состояния, чтобы она могла достичь следующей MFOP. Не все MRP будут иметь одинаковую продолжительность, потому что они должны охватывать различные действия по техническому обслуживанию для отдельного заменяемого блока линии (LRU), такие как те, с истекшим сроком службы, которые требуют некоторого капитального ремонта и предотвращают техническое обслуживание или просто проверку [6]. Кроме того, будет проведено корректирующее обслуживание, чтобы восстановить полную работоспособность этих неисправных систем.

• Необслуживаемая живучесть периода эксплуатации (MFOPS): MFOPS – это продление гарантийного срока. Операторы рассматривают возможность распространения этой концепции на весь срок службы системы. Предполагается, что подрядчик / производитель гарантирует, что в течение каждого определенного периода эксплуатации не потребуется никаких внеплановых работ по техническому обслуживанию с заранее определенным уровнем достоверности. Доверие масштабируется с помощью выживаемости без технического обслуживания (MFOPS). MFOPS определяется как вероятность того, что элемент выживет в течение срока действия MFOP [7], а также стремится уменьшить DMC. Есть два шага к снижению прямых затрат на обслуживание (DMC).

• Улучшение в присущей надежности;

• Достижения оптимального плана обслуживания.

Более высокая надежность уменьшит количество отказов и, следовательно, человеко-часов и материалов, необходимых для их устранения, поэтому DMC не будет востребован. Для достижения MFOP самолетов, это означает, что случайный отказ должен быть устранен во время MFOP. От традиционной культуры, считающей, что не только неудачи неизбежны, но и приемлемы, следует отказаться. Многие методы или решения будут применяться к

проектированию для обеспечения надежности более упреждающим образом, чтобы механизм отказа не имел возможности произойти. Методы могут варьироваться от изменения физического дизайна, выбора другого компонента, улучшенного процесса сборки до более радикального изменения дизайна. Для достижения оптимального плана технического обслуживания всей системе воздушного судна в определенный момент потребуются некоторые действия по техническому обслуживанию, но они будут выполнены во время запланированных MRP. MFOP откладывает практически все корректирующее обслуживание на MRP, поэтому «внеплановый» элемент обслуживания заменяется на более плановое обслуживание, основанное на общем улучшении надежности, связанном с более надежным оборудованием. Более практичный, рентабельный и сбалансированный набор MRP, которые создают и поддерживают наилучшую общую систему MFOP, могут быть достигнуты с помощью компромисса и методологии проектирования системы во время проектирования. Это уменьшает некоторую неопределенность, присутствующую в планировании технического обслуживания [1]. Резервные ресурсы могут быть перераспределены на запланированные работы, а материально-техническое обеспечение может быть сосредоточено в одном конкретном месте эксплуатации воздушных судов. Таким образом, MFOP предоставляет оператору гибкость в том, где и когда он выполняет свое профилактическое и корректирующее обслуживание в определенной степени. Тогда DMC будет сокращен, из-за сокращения трудозатрат и материалов, чтобы справляться с неработоспособными летательными аппаратами. Например, на техническое обслуживание линии приходится 50 процентов всех работ по техническому обслуживанию в течение жизненного цикла воздушного судна. Сегодня рутинная работа воздушного судна, разработанного MFOP, будет сведена к минимуму [3].

Процесс диагностики неисправностей заключается в диагностировании отказов современного коммерческого самолета большая часть процедуры обнаружения сигналов и извлечения признаков может выполняться автоматически, благодаря разработке технологий датчиков, динамического тестирования и анализа сигналов. С точки зрения концепции диагностики неисправностей, самолет представляет собой сложную систему. Его структура представляет собой многоуровневую иерархическую архитектуру, которая состоит из множества подсистем, например, структуры самолета, двигателя, системы автоматического полета, шасси, системы связи, гидравлической мощности и навигационной системы. Каждая подсистема образована подсистемами или подразделениями более низкого уровня. И подсистемы или подразделения обычно взаимодействуют друг с другом. Связи между уровнями конструкции самолета обычно трудно определить из-за множественности и неоднородности конструкций и функций самолета. Количественные соотношения между входом и выходом подсистемы или блока обычно отсутствуют или неточны. Передовые технологии многих техносферы были применены к синтетическим современным самолетам, таким как машины, электрика, компьютер, автоматическое управление и электроника. Все больше электромеханического оборудования используется в авиации [4]. Механические и электрические компоненты этого оборудования были объединены не только с точки зрения управления, но также с точки зрения функции и структуры. Многопрофильные знания необходимы для диагностики неисправности самолета. Вышеперечисленные проблемы приводят к трудностям диагностического обоснования коммерческих самолетов, и это всегда требует участия эксперта. Однако требуемый эксперт не всегда доступен из-за смены, болезни, смены места работы и так далее. Кроме того, большая часть техносферы была использована в больших коммерческих самолетах, и эксперт вряд ли обладает всеми существующими системными знаниями. Разработка экспертной системы диагностики неисправностей, которая могла бы охватить системные знания, опыт и знания, рассматривается как способ решения этой проблемы. Большая часть NFF будет предотвращена экспертной системой, поэтому экономически эффективная и своевременная диагностика неисправностей поможет уменьшить DMC [5].

С помощью методологий, изученных в этой статье, снижение прямых затрат на

техническое обслуживание самолета может быть достигнуто без проблем. У каждой методологии есть свои собственные стандарты, описывающие важные факторы, с которыми столкнется самолет в течение его периода эксплуатации. Исключение неисправности в нужное время и ее влияние на воздушное судно необходимо четко изучить, что рассматривается как путь для развития обслуживания и снижения затрат с помощью предлагаемого метода. Необходимость и участие высококвалифицированных чиновников является важным аспектом, который учитывается при проектировании или производстве самолета. Кроме того, желательно проверить подход в режиме реального времени, чтобы изучить его эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аль-Дарабсе А.М.Ф., Маркова Е.В.* Анализ авиационной безопасности: проблемы, вызовы, возможности.// В сборнике: Проблемы технического сервиса в АПК Сборник научных трудов II студенческой всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 28-35.

2. *Аль-Дарабсе А.М.Ф., Маркова Е.В.* Текущие стандарты пейзажа для умных производственных систем.// В сборнике: Технологии и оборудование садово-паркового ландшафтного строительства сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2019. С. 293-295.

3. *Аль-Дарабсе А.М.Ф.* Исследование экономических систем в авиастроении на основе методологии фуникционально-стоимостной инженерии.// В сборнике: Молодежь и наука XXI века Материалы Международной научной конференции. 2018. С. 470-472.

4. *Аль-Дарабсе А.М.Ф., Май С.Д., Маркова Е.В.* Методологический инструментарий признака устойчивости выборе функционирования конструктивных элементов воздушного судна.// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 4-2. С. 289-293.

5. *Аль-Дарабсе А.М.Ф., Вольсков Д.Г.* Авиационная промышленность – смягчения последствий изменения климата посредством технологии и политики.// В сборнике: Проблемы технического сервиса в АПК Сборник научных трудов II студенческой всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 21-28.

6. *Аль-Дарабсе А.М.Ф., Маркова Е.В.* Использование модифицированных композиционных материалов в строительных гидротехнических сооружениях.// В сборнике: Актуальные вопросы применения инженерной науки. Материалы Международной студенческой научно-практической конференции. Министерство сельского хозяйства РФ, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. 2019. С. 325-330.

7. *Аль-Дарабсе А.М.Ф., Маркова Е.В.* Методы подсчета циклов авиационного двигателя.// В сборнике: « Гагаринские чтения – 2019» тезисов докладов. XLV Международная молодёжная научная конференция. 2019. С. 110-111.

COST ANALYSIS FOR MAINTENANCE OF AIRCRAFT

Al Darabseh A.M.F., Markova E., Miller V.

amersamarah4@gmail.com

Scientific adviser: D. Volskov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

(Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk)

This paper describes the main issues of direct maintenance costs and identifies ways to reduce direct maintenance costs. This paper provides an overview of the concept of reliability and maintenance. The proposal is suggested a good signal to reduce direct repairs and improve aircraft.

УДК 331.45

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОСТИ ТРУДОВОГО ПРОЦЕССА АВИАДИСПЕТЧЕРСКОГО ПЕРСОНАЛА

Бану В.А.
game_of_ps4@mail.ru
Научный руководитель: Н.Е. Данилина, канд. пед. наук
(Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти)

В данной работе рассмотрена оценка напряженности трудового процесса авиадиспетчерского персонала, содержание работы указывает на степень сложности выполнения задания, характеристику единоличного руководства в сложных ситуациях. Актуальность проекта обусловлена отсутствием в специальной оценке условий труда таких показателей как: нагрузки интеллектуального характера, сложность решения алгоритмических задач, степень риска для собственной жизни, степень ответственности за безопасность других лиц, эмоциональные нагрузки, режим работы, отсутствие в производственной деятельности авиадиспетчерского персонала регламентированных перерывов труда и отдыха.

Оценка напряженности труда профессиональной группы работников авиадиспетчерского персонала основана на анализе их трудовой деятельности и ее структуры, которые изучаются путем хронометражных наблюдений в динамике всего рабочего дня, в течение не менее одной недели. Анализ основан на учете всего комплекса производственных факторов (стимулов, раздражителей), создающих предпосылки для возникновения неблагоприятных нервно-эмоциональных состояний (перенапряжения). Все факторы или показатели трудового процесса имеют качественную или количественную выраженность и сгруппированы по видам нагрузок: интеллектуальные, сенсорные, эмоциональные, монотонные, режимные нагрузки [1].

Содержание работы указывает на степень сложности выполнения задания: от решения простых задач до эвристической деятельности с решением сложных заданий при отсутствии алгоритма. Последовательность действий выбирается авиадиспетчером и имеет значение для решения задачи. Алгоритм - это логическая совокупность правил, которая, если ей следовать, всегда приводит к верному решению задачи, что обязательно в повседневной деятельности авиадиспетчера.

Характеристику единоличного руководства в сложных ситуациях необходимо рассматривать в ситуациях, возникающих внезапно (как правило, это предаварийные или аварийные ситуации) и имеющих чрезвычайный характер (например, возможностьполомки сложного авиационного оборудования в полете, возникновение опасности для жизни). Данный фактор также заставляет авиадиспетчера испытывать нервные перенапряжения в трудовом процессе.

Как вредные оцениваются и такие работы, где принятие решений происходит на основе необходимой и достаточной информации по известному алгоритму (как правило, это задачи диагностики или выбора).

По восприятию сигналов или информации и их оценке критериальным с точки зрения различий между классами напряженности трудового процесса является установочная цель, которая принимается для сопоставления поступающей при работе информации с номинальными значениями, необходимыми для успешного выполнения полета.

Вредным классом для авиадиспетчеров оценивается работа, связанная с восприятием сигналов с последующей комплексной оценкой всей производственной деятельности.

Распределение функций по степени сложности задания характеризуется распределением функций между работниками. Соответственно, чем больше возложено функциональных обязанностей на работника, тем выше напряженность его труда.

Степенью вредности оценивается по данному показателю такая работа, которая включает не только контроль, но и предварительную работу по распределению заданий другим лицам. Наиболее сложная функция - это предварительная подготовительная работа с последующим распределением заданий другим лицам, которая характерна для таких профессий, как

авиадиспетчеры.

Характер выполняемой работы по индивидуальному плану определяется низким уровнем напряженности трудового процесса. Наибольшая напряженность характеризуется работой в условиях дефицита времени и информации. При этом отмечается высокая ответственность за конечный результат работы профессии авиадиспетчера.

В отношении дефицита времени следует руководствоваться изложенными выше соображениями, а что касается повышенной ответственности за конечный результат, то такая ответственность должна быть не только субъективно осознаваемой, поскольку на любом рабочем месте исполнитель такую ответственность осознает и несет, но и возлагаемой на исполнителя должностной инструкцией. Степень ответственности должна быть высокой - это ответственность за нормальный ход полета (авиадиспетчер), за сохранность уникального, сложного и дорогостоящего авиационного оборудования и за жизнь других людей (экипажа воздушного судна.пассажиров).

Актуальность проекта обусловлена отсутствием в специальной оценке условий труда таких показателей как: нагрузки интеллектуального характера, сложность решения алгоритмических задач, степень риска для собственной жизни, степень ответственности за безопасность других лиц, эмоциональные нагрузки, режим работы, отсутствие в производственной деятельности авиадиспетчерского персонала регламентированных перерывов труда и отдыха.

В процессе исследования нами были решены следующие задачи: изучение нормативно-правовой литературы, изучение опыта профессиографического анализа специальностей авиадиспетчерского персонала, изучение психологических аспектов безопасности труда, проведение диагностики профессионально важных психофизических функций, разработка мобильного приложения по определению готовности авиадиспетчерского персонала к работе.

Руководитель полетами на аэродроме во время полетов обязан периодически проверять готовность авиадиспетчера [2].

Нами были рассмотрены и предложены комплексы мероприятий по допуску к работе авиадиспетчерского персонала. Так, проверка знаний требующихся от авиадиспетчера проводится в виде разработанного нами теста ежедневно перед началом работы, результаты автоматически отправляются по мобильному приложению руководителю структурного подразделения, осуществляющего допуск или недопуск авиадиспетчерского персонала к работе.

Предлагается обязательная релакс-минутка. Так как в нормативной документации не указаны регламентированные перерывы труда и отдыха, мы предлагаем дополнительно добавить в приложение возможность снизить нагрузку на авиадиспетчера с помощью дополнительной функции в виде игры-кроссворда. Тестовая часть будет проводиться каждую рабочую смену, в тест будет входить 5 вопросов, которые будут набираться из общей базы вопросов в которой будет не менее 400 вопросов для авиадиспетчерского персонала.

В течение релакс-минутки (проводится через каждые 3-4 часане более 5 минут, точное время выбирает работник авиапредприятия) дополнительно добавляется нами в приложение возможность снизить нагрузку на авиадиспетчера с помощью техники эффективного мышечного расслабления. Результатами проекта разработки мобильного приложения по допуску к работе авиадиспетчерского персонала аэропортов будут являться: сохранение жизни и здоровья работников предприятий, высокий уровень готовности авиадиспетчерского персонала, отсутствие аварий и инцидентов угрожающих жизни работников, летного состава, пассажиров авиалайнеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. "Р 2.2.2006-05. 2.2. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда" (утв.

Главным государственным санитарным врачом РФ 29.07.2005) – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200040973 (Дата обращения: 09.07.2019)

2. Приказ Министра обороны РФ от 24.09.2004 N 275 "Об утверждении Федеральных авиационных правил производства полетов государственной авиации" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 10.11.2004 N 6110) – URL: http://ivo.garant.ru/#/document/187535/paragraph/7224:0 (Дата обращения: 09.07.2019)

ASSESSMENT OF THE INTENSITY OF THE WORK PROCESS OF AIR TRAFFIC CONTROL PERSONNEL

Banu V.
game_of_ps4@mail.ru
Supervisor: N. Danilina, Candidate of Pedagogic Sciences
(Togliatti State University, Togliatti)

In this paper, we consider the assessment of the intensity of the labor process of air traffic control personnel,the content of the work indicates the degree of complexity of the task, the characteristic of the sole leadership in difficult situations. The relevance of the project is due to the lack of special assessment of working conditions indicators such as: the load of intellectual nature, the complexity of solving algorithmic problems, the degree of risk to their lives, the degree of responsibility for the safety of others, emotional stress, mode of operation, the lack of production activities of air traffic control personnel regulated breaks work and rest.

УДК 656.7

БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Каримова Л.Н.
tt-timofei@mail.ru
Научный руководитель: Т.Ю. Гумеров, канд. хим. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

С целью осуществления экологического контроля за деятельностью предприятий гражданской авиации и с учетом особенностей воздействия воздушных судов на окружающую среду рассмотрены требования безопасности при эксплуатации, ремонте и испытаниях воздушных судов и авиадвигателей на предприятиях гражданской авиации.

В работе рассмотрены некоторые особенности воздействия на окружающую среду воздушных судов и авиадвигателей в результате выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Основными источниками неблагоприятного воздействия на окружающую среду на авиапредприятиях являются воздушные суда, эксплуатация и испытания которых сопровождается, прежде всего, повышенным уровнем шума и загрязнением атмосферного воздуха отработавшими газами двигателей. В силу специфических особенностей эксплуатации воздушных судов к предприятиям гражданской авиации предъявляются особые требования.

При осуществлении хозяйственной и иной деятельности, оказывающей отрицательное воздействие на состояние окружающей природной среды, предприятия обязаны проводить комплекс работ по экологическому обоснованию своей деятельности и всесторонней оценке воздействия их объектов на окружающую среду.

Специфические особенности воздействия воздушного судна на окружающую среду, следующие:

- интенсивности отправлений и прибытий в течение года, месяца, суток;
- максимальная получасовая интенсивность движения по фактическим данным или по действующему расписанию;

- взлетно-посадочные операции и типы установленных двигателей;

- отдаленность аэропорта от крупных населенных пунктов и других защищаемых от шума и загрязнения зон, схема расположения подобных зон относительно взлетно-посадочной полосы;

- схемы взаимного расположения взлетно-посадочной полосы, аэровокзала, мест стоянок, площадок для гонок двигателей и мест загрузки самолетов;

- схемы маршрутов прилета и вылета воздушных судов, схемы руления к исполнительному старту до взлета и после посадки;

- средняя продолжительность руления воздушного судна в аэропорту;

- статистические данные повторяемости метеоусловий по месяцам и в течение года;

- среднегодовая повторяемость использования различных направлений взлетно-посадочной полосы.

Наличие периодически выполняемых расчетов валовых выбросов загрязняющих веществ от двигателей воздушных судов в зоне аэропорта (до высоты 900 м), выполняются с разбивкой результатов по месяцам и их типам.

Расчеты производятся на основании фактически выполненной работы воздушного судна за отчетный период, данным испытаний двигателей с учетом особенностей эксплуатации, характеристик потребляемого топлива и метеоусловий в данном аэропорту. Документами, подтверждающими достоверность эмиссионных характеристик воздушного удна и правильность выполненных расчетов являются специальные бортовые удостоверения, которые по требованию экологических служб аэропорта предъявляются авиаперевозчиками, выполняющими рейсы в данный аэропорт.

Для осуществления государственного учета, систематизации и прогнозирования выбросов загрязняющих веществ от воздушного судна по отрасли в целом каждые полгода необходимы сведения о фактических выбросах загрязняющих веществ, рассчитанных в соответствии с [1].

Расчеты должны быть выполнены для следующих условий:

- максимальная фактическая получасовая интенсивность движения воздушных судов для самого напряженного месяца года;

- среднесуточная получасовая интенсивность движения, характерная для наиболее напряженного месяца года;

- среднемесячные и неблагоприятные метеоусловия для самого напряженного месяца года;

- в направлениях ветра в сторону населенных пунктов и других защищаемых территорий, находящихся в зоне влияния распространения примесей загрязняющих веществ;

- для любых других сценариев движения воздушных судов в аэропорту и метеоусловий и санитарно-защитных зон.

Результаты расчета включают таблицы с данными в угловых точках на местности и контуры равновеликих концентраций на двухмерном пространстве с наглядной демонстрацией загрязнений атмосферного воздуха в защищаемых зонах и жилой застройки.

При определении нормативов выбросов от стационарных источников аэропорта поля концентраций загрязняющих веществ от воздушного судна используются в качестве основы, на которую наносятся выбросы от стационарных источников.

При расчете зон воздействия авиационного шума на прилегающие территории должны использоваться акустические характеристики конкретных типов воздушных судов, подтвержденные результатами соответствующих испытаний, и методы расчета, учитывающие особенности пилотирования в данном аэропорту.

Аэропорты 1-го и 4-го классов, а также расположенные в курортной зоне или в непосредственной близости от городских застроек, и других населенных пунктов, должны быть оборудованы системой оперативного контроля за акустической обстановкой и распространением загрязняющих веществ в окрестностях аэропорта. На первом этапе разрабатываются методы мониторинга, позволяющие в реальном времени представлять

информацию об уровнях шума и загрязнениях атмосферы, моделировать возможные сценарии эксплуатации воздушных судов, в том числе при неблагоприятных атмосферных условиях.

Разработка и внедрение расчетных методов мониторинга совмещается по срокам с графиком сертификации аэропорта, особенно, расположенных в курортной зоне. На основании опыта эксплуатации расчетных систем мониторинга, при наблюдении устойчивого неблагоприятного влияния на зоны населенных мест и другие защищаемые зоны, по требованию территориальных природоохранных органов и общественности внедряются инструментальные (измерительные) методы контроля.

Кроме этого, необходимо проводить расчет валовых выбросов загрязняющих веществ и полей рассеивания концентраций при техническом обслуживании воздушных судов на авиационно-технических базах, если они располагаются в пределах производственно-технической территории аэропорта, независимо от того, входят ли они в состав юридического лица аэропорта или нет.

Также необходима оценка риска возникновения аварийных ситуаций воздушного судна в зоне аэропорта и их экологическим последствиям, с указанием зон аварийного слива топлива и последствий на окружающую среду, а также план действий персонала предприятия в аварийных ситуациях.

Наличие информации о деятельности предприятия, содержащейся в экологическом паспорте, включает следующие данные:

- состав приписного парка воздушных судов с указанием бортовых номеров, типов установленных двигателей, даты изготовления и начала эксплуатации, назначенных и отработанных ресурсов, количестве проведенных ремонтов, сведений об организациях, производящих техническое обслуживание;
- маршрут полета и вид работ с использованием вертолетов и самолетов авиации общего назначения.

Бортовые удостоверения на каждом воздушном судне должны содержать сведения по шуму, создаваемому на местности, и выбросам в атмосферу загрязняющих веществ. Бортовые удостоверения выдаются Федеральной авиационной службой России на основании заключений, подготавливаемых Центром экологической безопасности при ГосНИИ ГА.

В бортовых удостоверениях по выбросам в атмосферу загрязняющих веществ (эмиссии) должна указываться следующая информация:

- интенсивность (масса в единицу времени) выбросов загрязняющих веществ на основных эксплуатационных режимах работы маршевых и вспомогательных двигателей при стандартных атмосферных условиях;
- масса выбросов загрязняющих веществ в стандартном взлетно-посадочном цикле воздушного судна;
- выбросы загрязняющих веществ в полете по трассам различной протяженности, заявленным авиаперевозчиком, с обязательной разбивкой по этапам полета;
- поправки к значениям выбросов загрязняющих веществ на качество топлива и изменения атмосферных условий;
- сведения о соответствии воздушного судна действующим отечественным и международным стандартам и нормам.

Показатели выбросов загрязняющих веществ устанавливаются на основании данных сертификата типа двигателя, сертификационных, специальных и других испытаний авиадвигателей, а также расчетно-экспериментальных или расчетных оценок, если отсутствуют данные испытания. В последнем случае, а также в случае несоответствия показателей выброса загрязняющих веществ действующим отечественным и международным нормативам выдаются временные бортовые удостоверения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Письмо Госкомэкологии РФ от 11.12.1997 № 03-19/29-3931 «Об организации контроля

за соблюдением "Требований экологической безопасности при эксплуатации, ремонте и испытаниях воздушных судов и авиадвигателей на предприятиях гражданской авиации». 1997. 16 с.

THE SAFETY WHEN OPERATING AIRCRAFT

Karimov L.
tt-timofei@mail.ru
Supervisor: T. Gumerov, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

In order to implement environmental control over the activities of civil aviation enterprises and taking into account the peculiarities of the impact of aircraft on the environment, safety requirements for the operation, repair and testing of aircraft and aircraft engines at civil aviation enterprises have been considered.

УДК 614.844

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПЕННОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Неклюдов Д.А.
daniil0222@yandex.ru
Научный руководитель: И.И. Рашоян, канд. техн. наук
(Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти)

В данной работе рассмотрен типовой алгоритм проектирования установок пенного пожаротушения, который не включает в себя нормативные требования по выбору конкретной марки пенообразователя. Предлагается при проектировании таких установок учитывать дополнительно интенсивность подачи пенного состава, необходимую для тушения конкретного объекта. Выполнен сравнительный анализ эффективности нескольких марок пенообразователей по сведениям, заявленным производителями. Поставлены цели для продолжения дальнейших исследований.

Автоматические системы пенного пожаротушения являются одним из наиболее популярных средств противопожарной защиты. Пены широко используются для тушения пожаров на промышленных предприятиях, складах, в нефтехранилищах, на транспорте и других объектах.

Целью исследования является повышение эффективности проектирования установок пенного пожаротушения путем оптимального выбора современных огнетушащих составов.

Задачи исследования:

– Изучить принцип действия современных систем пенного пожаротушения
– Изучить область применения пенных огнетушащих составов
– Изучить и сравнить преимущества и недостатки применения различных пенных огнетушащих составов
– Выявить критерии оптимального выбора пенных составов при проектировании АУПТ

Пены относятся к веществам преимущественно изолирующего действия. Пены представляют собой дисперсные системы, состоящие из пузырьков газа, окруженных пленками жидкости, и характеризующиеся относительной агрегатной и термодинамической неустойчивостью. Для получения воздушно-механической пены требуются специальная аппаратура и водные растворы пенообразователей.

Автоматические установки пенного пожаротушения обычно применяются для ликвидации пожаров классов А, В

Проектирование установок пенного пожаротушения должно осуществляться в соответствии с нормативными требованиями [1], которые предусматривают ряд основных действий:

1. Осуществляется выбор типа установки пожаротушения с учетом пожароопасности и скорости распространения пламени - агрегатная или модульная.

2. Определяется согласно температуре окружающей среды в зоне расположения оросителей номинальная температура их срабатывания.

3. Принимаются с учетом выбранной группы объекта защиты (по Приложению Б и таблицам 5.1 - 5.3 СП 5.13130.2009) интенсивность подачи, расход огнетушащего вещества (ОТВ), максимальная площадь орошения, расстояние между оросителями и продолжительность подачи ОТВ.

4. Выбирается тип оросителя в соответствии с его секундным расходом, интенсивностью орошения и защищаемой им площадью, а также архитектурно-планировочными решениями защищаемого объекта.

5 Намечаются трассировка трубопроводной сети и план размещения оросителей; для наглядности трассировка трубопроводной сети по объекту защиты изображается в аксонометрическом виде (необязательно в масштабе).

6. Проводится гидравлический расчет распределительной сети АУП:

Анализ рассмотренного алгоритма проектирования пенных АУПТ показал, что отсутствуют нормативные требования по выбору марки пенообразователя для конкретных объектов и условий пожара. Кроме того, на практике показателем огнетушащей способности пен является оптимальная интенсивность подачи I (л/(м^2*с)), которая не учитывается в применяемом алгоритме. При этом оптимальной считается интенсивность подачи, при которой удельный расход ОТВ на единицу площади пожара будет минимальным.

Интенсивность подачи пены I (в зависимости от марки пенообразователя) и время подачи (t, с), позволяют определить показатель эффективности ОТВ по формуле [2]:

$$П_{эт} = \frac{1}{I \times t_T^2}$$

По указанной формуле произведены расчеты показателя эффективности для некоторых марок пенных составов на основе данных от производителей, результаты которых представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Состав пенообразователей

Марка пены	Кратность пены	Состав (со стабилизирующими добавками)	Цена за 200 кг
ПО-6ЦТ/AR	средняя высокая	Водный раствор углеводородных синтетических анионных поверхностно-активных веществ.	17500
ПО-6ТФ	низкая средняя	Водный раствор фторсодержащих поверхностно-активных веществ	21000
ПО-6FFFP	средняя низкая	Водный раствор протеиновых и фторсодержащих поверхностно-активных веществ	19800
ПО6ТСм марка Б-А	средняя	Водный раствор углеводородных синтетических анионных поверхностно-активных веществ	Б:16500 А:19600

Таблица 2

Показатель эффективности пенообразователей

Марка пены	Интенсивность подачи л/(м*с)	Время подачи, с	Показатель эффективности	Расход л/м^2
ПО-6ЦТ/AR	0,032 ± 0,002 0,059 ± 0,002	120 120	0,0021 0,0011	3,84 7,08
ПО-6ТФ	0,059±0,002 0,032±0,002	90 100	0,002 0,0031	5,31 3,2
ПО-6FFFP	0,032 ± 0,002 0,059 ± 0,002	300 120	0,00034 0,0011	9,6 7,08
ПО6ТСм марка Б-А	0,042±0,002	300	0,00026	12,6

Для заданных производителями условий по результатам расчетов получим, что наиболее эффективным будет применение пенообразователей марки ПО-6ТФ для пены средней кратности. Иначе говоря, выбран пенообразователь, который обеспечивает минимальный расход и максимальную эффективность при тушении пожара.

Дальнейшая научная работа будет направлена на разработку рекомендаций по оптимальному проектированию пенных систем пожаротушения с учетом экономической эффективности применения ОТВ для различных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. СП 5.13130.2009. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (утв. Приказом МЧС России от 25.03.2009 N 175, ред. от 01.06.2011) [Электронный ресурс]. - URL: http://docs.cntd.ru/document/1200071148 (Дата обращения: 24.06.2019))

2. *Бобков С. А.,* Примеры и задачи по курсу «Физико-химические основы развития и тушения пожара»: Учеб. пособие // С.А. Бобков, А.В. Бабурин, П. В. Комраков – М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. – 98 с.

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF BLOWING AGENTS IN THE DESIGN OF AUTOMATIC INSTALLATIONS OF FOAMED FIRE EXTINGUISHING

Neklyudov D.

daniil0222@yandex.ru

Scientific adviser: I. Rashoyan, Candidate of Technical Sciences

(Tolyatti State University, Togliatti)

In this paper, we consider an algorithm for designing foam fire extinguishing installations, which does not include regulatory requirements for the choice of a specific powder composition. It is proposed when designing such installations to take into account additionally the intensity of the supply of foam composition necessary to extinguish a particular object. A comparative analysis of the effectiveness of several grades of blowing agents according to information declared by the manufacturers was performed.

УДК 614.844

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРОШКОВЫХ СОСТАВОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Смольяков А.Н.

cbm987987@gmail.com

Научный руководитель: И.И. Рашоян, канд. техн. наук

(Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти)

В данной работе рассмотрен типовой алгоритм проектирования установок порошкового пожаротушения, который не регламентирует жесткие нормативные требования по выбору конкретного порошкового состава. Предлагается при проектировании таких установок учитывать дополнительно удельный расход порошкового состава, необходимый для тушения конкретного объекта. Выполнен сравнительный анализ эффективности нескольких видов марок порошка по их характеристикам, заявленным производителями.

До последнего времени наиболее популярным способом борьбы с огнем оставалась вода. Такой способ не всегда эффективен, но он является обычно самым доступным. Однако вместе с прогрессом в жизнь людей пришли новые материалы, которые просто нельзя тушить водой при их возгорании, что привело к необходимости создавать новые способы борьбы с огнем. Один из них – порошковая система пожаротушения.

Целью настоящей работы является повышение эффективности проектирования установок порошкового пожаротушения путем оптимального выбора современных огнетушащих

составов.

Задачи работы:

– Изучить принцип действия современных систем порошкового пожаротушения.

– Изучить область применения порошковых огнетушащих составов.

– Изучить и сравнить преимущества и недостатки применения различных порошковых огнетушащих составов.

– Выявить критерии оптимального выбора порошковых составов при проектировании АУПТ

Тушение пожара с помощью порошковой системы основано на подаче в зону возгорания специального мелкодисперсного порошка. За счет этого достигается охлаждение участка возгорания благодаря передаче части тепла частицам порошка и расходу энергии на плавление этих частиц. Кроме того, уменьшается объем поступающего кислорода, поскольку горящая среда разбавляется продуктами термического разложения порошка и замедляется химическая реакция горения.

Порошковые системы обычно применяются для тушения локальных пожаров класса A, B, C, D, например, для тушения пожаров горючих жидкостей, утечек газа, нефтеналивных сооружений и т.д. (таблица 1). Нецелесообразно использовать их при тушении материалов, способных гореть без доступа кислорода или склонных к самовозгоранию и тлению. Порошок обладает отрицательным ингаляционным воздействием на человека, поэтому применение его допустимо только после окончания процесса эвакуации.

Таблица 1

Применимость порошков [1]

Класс пожара	Горючие вещества и материалы	Порошки	
		Общего назначения	Специального назначения
A	• Твердые тлеющие вещества, смачиваемые водой • Резинотехнические изделия (нетлеющие)	2 2	- -
B	• Эфиры простые и сложные • Альдегиды и кетоны • Спирты водорастворимые	3 3 3	3 3 3
C	• Углеводородные газы • Водород	2 1	2 1
E*	Трансформаторные подстанции и электрооборудование	2	-

Рассмотрим алгоритм проектирования порошковых АУПТ. «Расчет установки включает определение:

- количества модулей, предназначенных для тушения пожара;
- времени эвакуации персонала при его наличии;
- времени работы установки;
- необходимого запаса порошка, модулей, комплектующих;
- типа и необходимого количества извещателей (при необходимости) для обеспечения срабатывания установки, сигнально-пусковых устройств, источников питания для запуска установки» [2].

Анализ алгоритма проектирования порошковых АУПТ показал, что свод правил не устанавливает нормативные требования по выбору конкретного порошкового состава.

На практике показателем огнетушащей способности порошков класса АВС является удельный расход (кг/м^2) порошка на тушение модельного очага класса А (штабеля из брусков древесины). Показателем огнетушащей способности порошков класса ВС является

удельный расход (кг/м^2) порошка на тушение модельного очага класса В (противня с горючей жидкостью). При этом значение удельного расхода не учитывается в применяемом алгоритме.

Удельный расход огнетушащего вещества (q, кг/м^2), в зависимости от составляющих его химических компонентов, и время подачи (t, с), позволяют определить показатель эффективности ОТВ по формуле [3]:

$$П_{эт} = 1/q_{уд}t.$$

Чем выше данный показатель, тем эффективнее огнетушащее вещество. По вышеуказанной формуле произведены расчеты показателя эффективности для некоторых марок порошковых составов общего назначения на основе данных, полученных от производителей. Результаты расчета эффективности представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Секундный расход порошковых составов

Марка огнетушащего порошка	Класс пожара	Секундный расход , кг/с	Основной компонент
ИСТО-1	А, В, С	0,31	Аммофос
П-2АПМ	А, В, С	0,46	
П-ФКЧС-2	В,С,Е	0,46	Бикарбонат натрия
Вексон ВС-30	В,С	0,58	
ПХК	В,С,Д	0,46	Хлорид калия
ПГХК «Завеса»	В,С,Д,Е	0,43	

Таблица 3

Показатель эффективности порошковых составов

Марка огнетушащего порошка	Время подачи t, с	Огнетушащая способность (удельный расход) q, кг/м^2	Показатель эффективности $П_{эт}$	Цена, руб (за 30 кг)
ИСТО-1	4,20	0,77	0,31	3 697,50
П-2АПМ	3,80	1,01	0,26	1 322,02
П-ФКЧС-2	4,50	1,21	0,18	2 400
Вексон ВС-30	3,00	1,00	0,33	1 650
ПХК	2,90	0,77	0,44	5 117,7
ПГХК «Завеса»	3,10	0,78	0,41	4 500

Исходя из полученных результатов, наиболее оптимальным выбором из данных составов будет марка огнетушащего порошка «ПХК» с наиболее высоким показателем эффективности с условиями подачи, заданными производителями.

Дальнейшая научная работа будет направлена на разработку рекомендаций по оптимальному проектированию порошковых систем пожаротушения с учетом экономической эффективности применения ОТВ в смоделированных условиях пожара для конкретного объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ Р 53280.4-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний" (ред. от 08.09.2016) [Электронный ресурс]. - URL: http://docs.cntd.ru/document/1200073277 (Дата обращения: 24.06.2019)

2. СП 5.13130.2009. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (утв. Приказом МЧС России от 25.03.2009 N 175, ред. от 01.06.2011)

[Электронный ресурс]. - URL: http://docs.cntd.ru/document/1200071148 (Дата обращения: 24.06.2019)

3. *Бобков С. А.*, Примеры и задачи по курсу «Физико-химические основы развития и тушения пожара»: Учеб. пособие // С.А. Бобков, А.В. Бабурин, П. В. Комраков – М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. – 98 с.

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF POWDER COMPOSITIONS DURING DESIGNING FIRE EXTINGUISHING INSTALLATIONS

Smolyakov A.
cbm987987@gmail.com
Supervisor: I. Rashoyan, Candidate of Technical Sciences
(Tolyatti State University, Togliatti)

This paper describes an algorithm for designing powder fire extinguishing installations that does not establish regulatory requirements for the choice of a specific powder composition. It is proposed when designing such plants to take into account additionally the specific consumption of the powder composition necessary for extinguishing a specific object. A comparative analysis of the effectiveness of several types of powder grades according to their characteristics declared by the manufacturers was carried out.

УДК 537.8 : 628.518

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ЭКРАНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Титов Е.В., Устюгов Д.В.
888tev888@mail.ru
Научный руководитель: А. А. Сошников, д-р техн. наук, профессор
(Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул)

Статья посвящена вопросам техносферной безопасности при эксплуатации любого вида техники, а именно экранированию электромагнитных излучений. Известные экранирующие материалы не обеспечивают надёжной защиты от неионизирующих излучений во всём спектре нормированных частот, поэтому предложено использование многослойного экрана для эффективного ослабления электромагнитных излучений в широком частотном диапазоне. Приведена методика формирования эффективного экрана для обеспечения электромагнитной безопасности.

В результате жизнедеятельности человечества уровень электромагнитного излучения (ЭМИ) возрос на несколько порядков буквально за прошедший век. На протяжении своей жизни современный человек постоянно находится под их негативным воздействием. При этом ЭМИ в широком диапазоне частот от единиц Гц до тысяч ГГц могут оказывать существенное влияние на состояние человеческого организма на молекулярном, клеточном и органном уровнях [1]. В повседневной жизни при эксплуатации любой техники высокочастотные электромагнитные поля (ЭМП) возникают при коммутационных процессах в электрических сетях и используемых устройствах. Они представляют серьезную угрозу не только непосредственно пользователям или операторам этих устройств, но и людям, случайно попавшим в опасную зону воздействия излучений. При этом опасность электромагнитных излучений часто недооценивается, а необходимая защита применяется не во всех случаях, несмотря на то, что наиболее часто используемые технологии обычно требуют стационарного использования соответствующих технических средств и постоянного присутствия человека.

Поэтому на базе Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова было разработано устройство для снижения опасности электромагнитных излучений (рисунок 1), отличающееся от существующих аналогов простотой в

эксплуатации, экономической доступностью, пониженной трудоемкостью изготовления и, позволяющее снижать уровни ЭМИ в широком диапазоне частот, в том числе, электрических и магнитных полей промышленной частоты и радиочастотного диапазона.

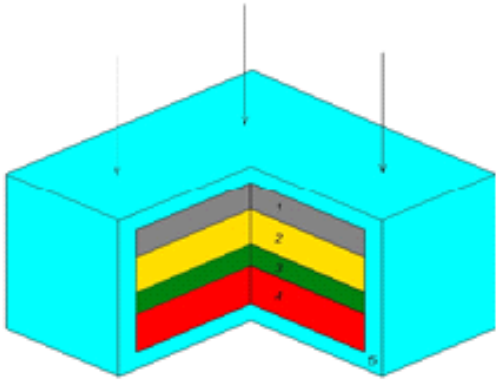


Рис. 1. Устройство для снижения опасности электромагнитных излучений

Для определения эффективности разработанного устройства в 2017 году были проведены экспериментальные исследования. В качестве источников электромагнитного излучения использовались: мобильный телефон «Siemens A60», сетевой фильтр и блок питания «Электрон комплекс – БПС 9-0,35».

В результате проведенных измерений было выявлено, что разработанное устройство значительно снижает уровни магнитного и электрического полей, а также величину плотности потока энергии практически до фоновых значений. При этом заземление экрана как на общий уровень магнитного, так и электромагнитного поля существенного влияния не оказывало, а воздействовало только на уровень электрического поля промышленной частоты. Также было зафиксировано, что уровень напряженности электрического поля с экраном на некоторых частотах превышает уровень излучения без экрана. Вероятно, это может быть связано с:

– погрешностью измерительного прибора;

– наличием внешних электромагнитных излучений;

– особенностью экрана.

Следует заметить, что, несмотря на все преимущества разработанного устройства, проблема снижения массогабаритных характеристик остается актуальной, а необходимость позиционирования и соединения слоев экрана дополнительно повышает трудоемкость его изготовления. В связи с этим возникает необходимость не только решать задачу снижения массогабаритных характеристик, но и уменьшать количество и толщину функциональных слоев.

Для устранения выявленных недостатков, а также для повышения эффективности экранирования разработанного устройства при выборе защитного экрана предлагается определять принадлежность к определенной зоне (ближней или дальней), позиции расчетной точки (рабочее место) по отношению к источнику электромагнитного поля (ЭМП) и контролируемые параметры электромагнитного поля [2, 3]. Далее в соответствии с [1-3] предлагается «адаптировать» защитный экран к фактическому состоянию электромагнитной обстановки.

Стоит также отметить, что если расчетная точка (рабочее место) находится вне опасной зоны, то защитных мероприятий не требуется. Если же рабочее место находится в опасной зоне, то следует либо уменьшить время пребывания в этой зоне, либо установить стандартный защитный экран (рисунок 2).



Рис. 2. Структурная схема методики формирования эффективного экрана

Методика формирования эффективного экрана для обеспечения электромагнитной безопасности приведена ниже.

1. Измеряются напряженности электрического и магнитного полей и/или плотность потока энергии с помощью аппаратно-программного комплекса. При этом проводится анализ электромагнитной обстановки с целью выявления наиболее «опасной частоты», а именно, частоты, на которой указанные выше параметры достигают значений, превышающие предельно допустимые уровни.

2. Определяется требуемая эффективность экрана в зависимости от зоны действия ЭМП.

3. Рассчитывается эффективность проектируемого экрана $Э_{экр}$. Расчет проводится по известным формулам [1-2] в зависимости от зоны действия ЭМП (ближняя $r<\lambda/2\pi$ или дальняя $r >> \lambda/2\pi$) и вида экрана (металлический сплошной, сетчатый и т.д.).

Таким образом, для обеспечения высокой эффективности экранирования в широком диапазоне частот необходимо использовать комбинацию материалов с соответствующими физическими параметрами (удельное сопротивление и относительная магнитная проницаемость) [3] для фактических условий пребывания (при определенной частоте, в ближней или дальней зоне). При этом технологическая модернизация экрана заключается в унификации его конструкции посредством ввода в композитный материал специальных армирующих и связующих компонентов.

Работа выполнена в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова при поддержке Российского научного фонда (грант 19-79-10027).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Худницкий С.С.* Особенности воздействия низкочастотных электрических и магнитных полей на человека в бытовых условиях // Электромагнитные поля и здоровье человека: Материалы 2-й междунар. конференции. Москва. 1999. С.109-115.

2. *Кравченко В.И., Болотов Е.А., Летунова Н.И.* Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи: учеб. пособие. Москва: Издательство Радио и связь. 1987. 355 с.

3. *Лыньков Л.М., Гуров А.И., Захаров В.И., Богуш В.А.* Применение химической нанотехнологии для конструирования облегченных формоустойчивых электромагнитных экранов // 3 Междунар. аэрокосм. конгр. IAC'2000: сборник тезисов. Москва. 2000. С. 229-232.

DEVELOPMENT OF METHODS OF FORMING AN EFFECTIVE SHIELD TO ENSURE ELECTROMAGNETIC SAFETY

Titov E., Ustyugov D.
888tev888@mail.ru
Supervisor: A. Soshnikov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Polzunov Altai State Technical University, Barnaul)

The article deals with the issues of technosphere safety in the exploitation of any type of equipment, including shielding of electromagnetic radiation. Known shielding materials do not provide a reliable protection from nonionizing radiation at the whole standartized frequency range. The article offers to use a multilayer shield for efficient reduction of electromagnetic radiation in a wide frequency range. It also presents a method of forming an effective shield to ensure electromagnetic safety.

УДК 304.2

КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАК СИСТЕМООБРАЗУЮЩИЙ ФАКТОР СНИЖЕНИЯ РИСКОВ

Уткин А.В.
avutkin@kai.ru
Научный руководитель: Муравьева Е.В, д-р пед. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Процесс формирования культуры безопасности жизнедеятельности должен иметь всеобщий, непрерывный и комплексный характер. Всеобщность предполагает повышение культуры всех групп населения, не зависимо от возраста, национальности, рода деятельности, семейного положения, места жительства, вероисповедания. Непрерывность связана с поэтапным воздействием на человека на протяжении всей жизни, начиная с детского возраста. Комплексность характера заключается в привитии правил безопасного поведения в условиях воздействия спектра всех возможных опасностей современного мира.

По оценкам специалистов причинами более 80% аварий и техногенных катастроф являются ошибки персонала. При этом мировая и отечественная практика свидетельствует о том, что для эффективных действий в области снижения рисков в настоящее время недостаточно простой совокупности знаний и умений. Необходимо, чтобы обеспечение безопасности являлось приоритетной целью и внутренней потребностью человека, социальных групп, общества. Значительные резервы для этого заложены в организации комплексного воздействия на людей в целях развития качеств личности, направленных на обеспечение собственной безопасности, безопасности окружающей среды, общества и государства, привития уверенности в необходимости и действенности защитных мероприятий, формирования физической и психологической устойчивости в условиях воздействия неблагоприятных факторов. Решить эту глобальную проблему можно только путем формирования культуры безопасности жизнедеятельности (рис.1.).



Рис. 1. Методы формирования культуры БЖД

Методами формирования культуры безопасности жизнедеятельности являются воспитание, морально – психологическая подготовка, пропаганда знаний, оперативное информирование об угрозе возникновения и правилах поведения в ЧС и другие. При этом основой формирования культуры является обучение всех групп населения в области гражданской обороны, защиты от ЧС, пожарной безопасности и безопасности на водных объектах. Так, для учащихся общеобразовательных учреждений нормы безопасного поведения в окружающей обстановке прививаются в ходе изучения курса ОБЖ, участия в соревнованиях «Школа безопасности», полевых лагерях «Юный спасатель».

Развитие способностей принятия безопасных решений при управлении производством, формирование профессионально значимых (с позиций безопасности) качеств будущих специалистов выполняется в ходе освоения общепрофессиональной дисциплины БЖД.

Для населения, занятого в сферах производства и обслуживания, формирование культуры связано, в основном, с выработкой осознанного выполнения норм и правил трудовой и технологической дисциплины, а для неработающего населения – с привитием ответственного отношения к собственной безопасности, безопасности своей семьи и окружающих людей.

Опыт показывает, что в современных условиях мощного деструктивного информационного воздействия на людей особую значимость в формировании культуры безопасности жизнедеятельности приобретает и применение современных технических средств массовой информации (теле и радиовещания, периодической печати и т.п.), а также информационно – телекоммуникационные технологии. Их высокая эффективность объясняется задействованием эмоционально – чувственной сферы человека, влиянием на адресное развитие долгосрочной памяти, подсознательным воздействием на мотивацию поступков.

Формирование культуры безопасности жизнедеятельности – достаточно новый и сложный вид деятельности. Для научно – методического обеспечения этого процесса в ЦСИ ГЗ МЧС России создано новое научное направление – «Оперативно – стратегических исследований в области формирования культуры безопасности жизнедеятельности». Специалисты этого направления активно участвуют в создании широкого спектра такой востребованной продукции, как компьютерные обучающие программы, тесты, мультимедийные пособия, информационно - образовательные порталы и сайты,

анимационные мультфильмы, учебные видеоролики, электронные плакаты и многие другие.

При этом следует учитывать, что в связи с большим количеством образовательных и культурно – просветительских учреждений в нашей стране данная продукция будет являться только инициирующим фактором разработки и массового внедрения аналогичной продукции, разрабатываемой в регионах и учитывающей их природные, техногенные и другие особенности. В этой связи хочется обратиться к руководителям органов исполнительной власти субъектов РФ и органов местного самоуправления, органов управления образованием, территориальных органов МЧС России - активно оказывать содействие в создании, распространении, внедрении новых средств, методов, технологий формирования культуры безопасности жизнедеятельности. Только такая - системная, регулярная и долгосрочная работа, от научной проработки вопроса до внедрения новых технологий в массовую образовательную практику, доведения до массового сознания людей, обеспечения влияния на общественное мнение, позволит значительно повысить уровень культуры безопасности жизнедеятельности населения, увеличить эффективность и экономичность мероприятий по снижению рисков.

Большую роль в формировании культуры безопасности жизнедеятельности должна сыграть и создаваемая в настоящее время Общероссийская комплексная система информирования и оповещения населения в местах массового пребывания людей (рис.2.).



Рис. 2. Система информирования и оповещения населения

Данная система предназначена подготовки населения к действиям в ЧС природного и техногенного характера, при террористических акциях, а также его оперативного информирования и оповещения. Внедрение этой системы позволит повысить подготовленность населения в области ГО и защиты от ЧС, обеспечить гарантированное оповещение и информирование о различных угрозах и опасностях, увеличить действенность

мониторинга за общественным порядком в местах массового пребывания людей, результативность процессов обнаружения и идентификации социально – опасных лиц. Кроме того, создание системы будет способствовать развитию передовых наукоемких информационных технологий, промышленности, систем связи и телекоммуникации, созданию новых рабочих мест.

СМИ играют большую роль в обеспечении безопасности общества. Средства массовой информации, несомненно, имеют очень сильное влияние в формировании отношения человека к обществу, к окружающей его действительности, формируют его точку зрения, донося до человека информацию о произошедшем. СМИ предоставляют потребителям информационные ресурсы, которые помогают им при принятии нужного решения и тем самым обеспечивают массовую информационную безопасность. СМИ влияют на все составные части информационной сферы и на жизнедеятельность населения. Проводились многочисленные опросы людей на тему «Главный информационный источник». И лидером среди СМИ стало телевидение и интернет. Они считаются одними из эффективных СМИ. К сожалению, в последнее время террористы используют СМИ для реализации преступных намерений. Они воздействуют на общество средством запугивания и распространения своих взглядов и убеждений, тем самым у них появляется возможность вербовать сторонников и пособников. СМИ являются одним из методов пропаганды знаний в области БЖД. Человек через СМИ познает последние достижения ученых, современные технологии и рекомендации по обеспечению безопасности жизнедеятельности. Эта пропаганда осуществляется путем размещения и трансляции информационных материалов на радио, телевидении и в интернете. Все эти методы используются с целью доведения до жителей страны в упрощенном виде порядка действий при возникновении чрезвычайных ситуаций. Если человек своевременно сориентируется в данной ситуации, то эффективность его действий будет на высоком уровне. Информация, распространенная в СМИ по пропаганде знаний в области БЖД также направлена на морально-психическую подготовку населения к действиям в ЧС. Она формирует заинтересованность граждан к самостоятельному изучению методов защиты в условиях ЧС.

В настоящее время Глобальная сеть Интернет часто используется для информирования многомиллионной планеты в короткие сроки, для использования выборочного осведомления и информирования, исходя из географического положения, а также для применения как текстового, так и передачу аудио- и видео информации. Чем больше уровень культуры безопасности личности, тем меньше риск того, что граждане сами станут источником или жертвой чрезвычайной ситуации. Тем самым, работа МЧС России должна быть направлена на взаимодействие со СМИ. Основная задача пресс-службы и всех, кто отвечает за сотрудничество со СМИ – сформировать среди работников средства массовой информации положительное мнение о том, что их информация является ценной, оперативной и объективной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Рождественский Ю.В.* Словарь терминов. (Общеобразовательный тезаурус): Общество. Семиотика. Экономика. Культура. Образование. М.: Издательства «Флинта», «Наука», 2003, - 87 стр.

2. *Коджаспирова Г.М., Коджаспиров Ю.А.* Педагогический словарь. М.: Издательский дом «Академия», 2005, - 176 стр.

3. Катастрофы и образование. Под редакцией Воробьева Ю.Л. М.: Эдиториал УРСС, 1999, - 176 с.

LIFE SAFETY CULTURE AS A SYSTEM-FORMING RISK REDUCTION FACTOR

Utkin A.
avutkin@kai.ru
Supervisor: E. Muravyova, Doctorof Pedagogic Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

On the basis of the Euler–Lagrange equations, a mathematical model of the hardware-in-the-loop (HIL) stand for optoelectronic device stabilization system has been presented. The developed model is implemented in Matlab / Simulink programming system. Examples of simulation are given. The developed model can be used in the verification of design solutions and design of control laws for the HIL stand.

УДК 62-1/-9

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИТЧЕСКИХ ПОЛЕЙ, ГЕНЕРИРУМЫХ ГАЗОВЫМИ ПОТОКАМИ ТУРБОВИНТОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Хлыщенко Ю.И.
yhlyshenko@mail.ru
Научный руководитель: К.А. Валеева, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Проблема снижения шума, создаваемого авиационной техникой, на сегодняшний день является частью общей проблемы охраны окружающей среды и техносферной безопасности.

Суть представленного исследования заключалась в изучении конструкции шумоглушащих устройств, которые позволят снизить уровень шума. В работе были проведены исследования двух моделей шумоглушащих устройств: шумоглушащего устройства диффузорного типа и шумоглушащего устройства ковшового типа.

Анализ результатов исследования показал, что применение шумоглушащего устройства диффузорного типа с завихрителем дает наибольший эффект.

Развитие авиации, создание нового поколения летательных аппаратов привели к резкому возрастанию.

Изучение характеристик акустических полей, которые генерируются газовыми потоками турбовинтовых двигателей, является достаточно сложным процессом.

Исследования акустических характеристик на модельных шумоглушащих устройств позволяет значительно проще, дешевле, а также с достаточной достоверностью оценить влияние параметров выходных устройств на характеристики акустического поля струи.

Исследование акустических характеристик моделей вариантов шумоглушащих устройств проводились на холодном воздухе (T=60º C).

В данном случае снизить шум струи можно следующими способами: уменьшая скорость струи, либо сокращая длину начального участка струи, либо создавая надёжное акустическое экранирование первых 8-10 калибров струи, а также заменяя направление истечения струи.

В работе были проведены исследования двух моделей шумоглушащих устройств: шумоглушащего устройства диффузорного типа и шумоглушащего устройства ковшового типа [1].

Шумоглушащее устройство диффузорного типа- это криволинейный диффузор, который способен понизить скорость струи в выходном сечении, а также изменить направление выдува реактивной струи. Данное устройство позволяет в значительной степени экранировать начальный участок струи [2].

Шумоглушащее устройство ковшового типа выполнена таким образом, чтобы поворачивать реактивные струи на 1200-1350от направления их выдува из сопел.

Для проведения исследований была изготовлена экспериментальная установка, схема которой приведена на рис.1.

Экспериментальная установка состоит из:

-измерительного и рабочего участков;

-воздушной магистрали измерительного участка, которая подключалась к воздуходувке (производительность 1,67 кг/с).

Сопла сменных насадков имитировали выхлопные устройства в масштабе 1:40. Модели вариантов шумоглушащих устройств присоединялись к рабочему участку и исследовались в той же среде, в которой работает натуральное выходное устройство турбовинтовых двигателей.

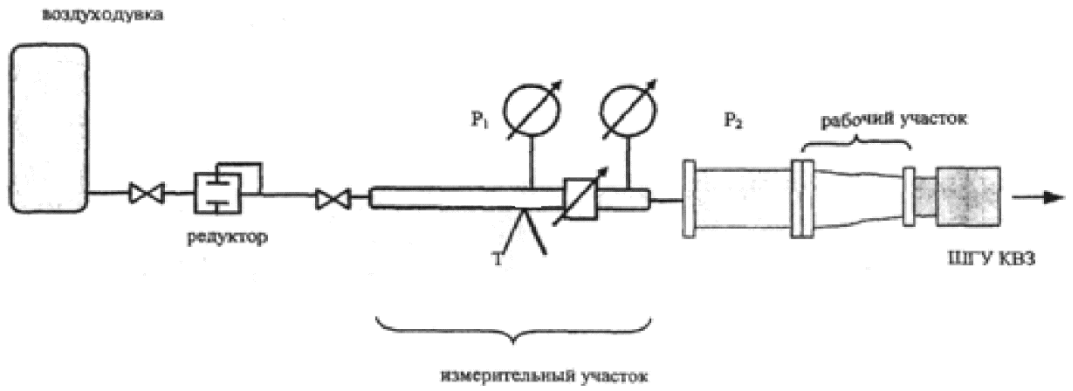


Рис. 1. Функциональная схема установки для
исследования акустических характеристик ШГУ

Для проведения экспериментальных исследований был использован акустический измерительный комплекс, позволяющий:

-регистрировать звуковые давления и уровни шумов различных источников;

-получать амплитудно-временные сигналы и амплитудно-частотные спектры шумов [3,4,5,6].

Схема регистрации представлена на рис.2. и включает в себя:

- конденсаторные микрофоны 4145 фирмы «Брюль и Къер» с блоками питания;
- пьезоэлектрические датчики ЛХ-610 и ДХС-516 с блоками питания;
- усилители МТ-16П, СС-9НФ-16;
- 14-канальный магнитограф Н-068;
- осциллографы С1-99, С8-13;
- интегрирующий шумомер 00026 фирмы RFT;
- блок согласования.

Пульсации в ближнем акустическом поле измерялись с помощью датчиков М1-М7, в качестве которых использовались пьезоэлектрические датчики ЛХ-610 и ДХС-516, причем в зоне возможного действия высоких температур применялись термозащищенные датчики типа ДХС-516. Электрические сигналы с датчиков усиливались усилителями СС-9НФ-16 и через блок согласования подавались на вход магнитографа Н-068. Усилители СС-9НФ-16 имели дискретные коэффициенты усиления, равные 120,40,12 и 4.

Система обработки сигналов включает в себя:

- магнитограф Н-068;
- осциллограф С1-99;
- инструментальный программируемый усилитель LM-201;
- ПЭВМ с принтером.

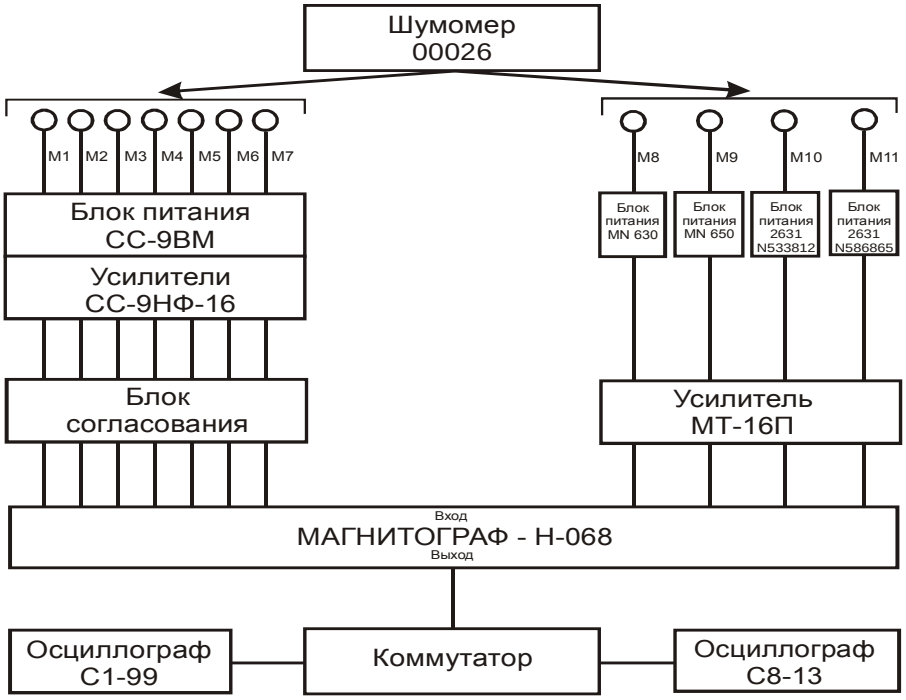


Рис. 2. Функциональная схема системы регистрации сигналов

В ходе исследования было необходимо определить уровни звукового давления на различны углах наблюдения. Также было необходимо построить диаграммы направленности звукового поля струи и получить спектры шума струи в определенных точках [7,8]. Данные точки установки микрофонов при проведении исследований устройства, а также рабочий участок с расширяющимся криволинейным эжектором, показаны на рис.3.

Измерения параметров шума проводились на углах 00;300;600;900;1200;1500;1800, при r/Да=66;333;666;1000 от выходного сечения шумоглушащего устройства, определяемого соотношением (1):

$$R=r/D2 \quad (1)$$

где r-расстояние от кромки выходного сечения шумоглушащего устройства;

D2-диаметр выходного сечения шумоглушащего устройства.

Рабочий участок экспериментальной установки располагался на специальной испытательной площадке.

На испытательной площадке размещены микрофоны, положение которых можно было изменять.

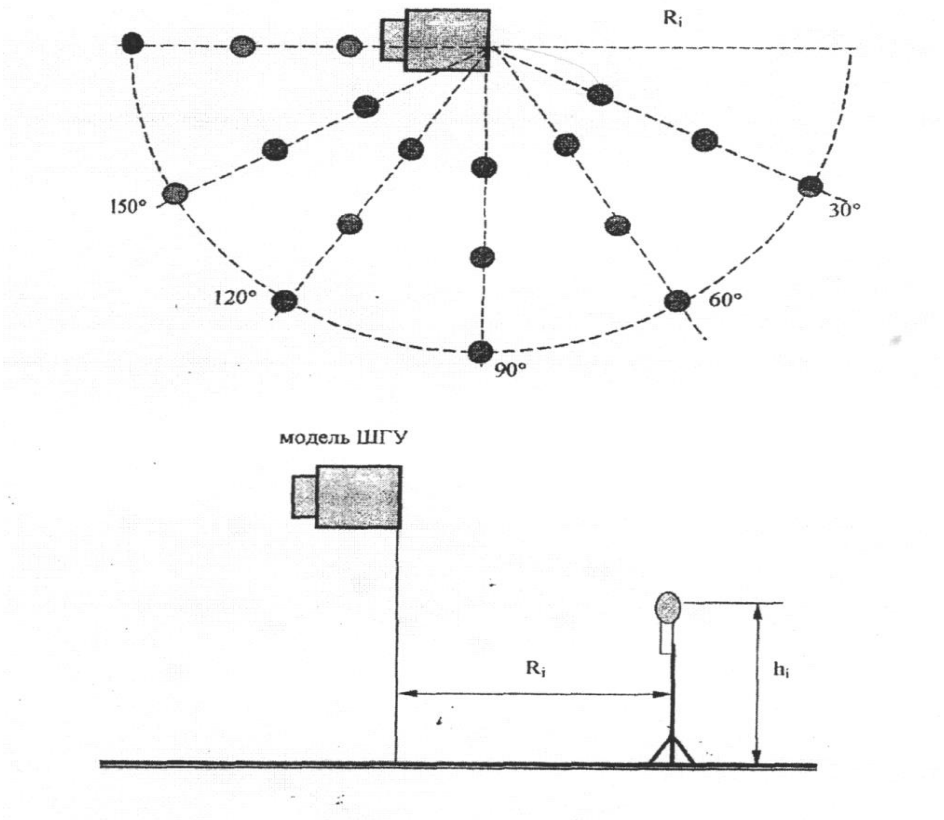


Рис. 3. Контрольные точки установки микрофонов при проведении исследований акустических характеристик вариантов ШГУ

Полученная экспериментальная информация для вариантов шумоглушащих устройств: отбойная стенка, диффузорного типа, диффузорного типа с завихрителем и ковшового типа для выхлопной струи изделия с условным обозначением «255» и изделия «9-12» представлена на круговых диаграммах на рис.4 и рис.5 соответственно.

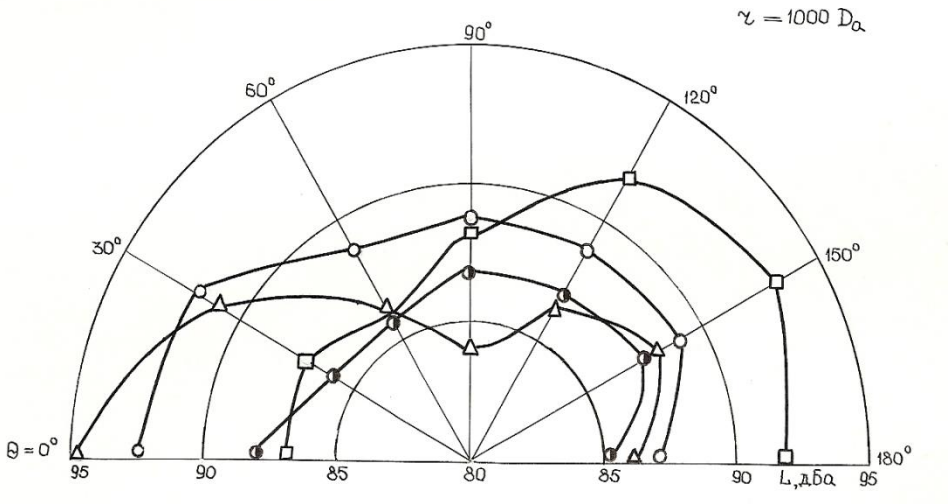


Рис. 4. Кольцевая диаграмма уровней интегрального шума для изделия «255»
Δ- отбойная стенка; ○- ШГУ диффузорного типа;
- ШГУ диффузорного типа с завихрителем; □- ШГУ ковшового типа

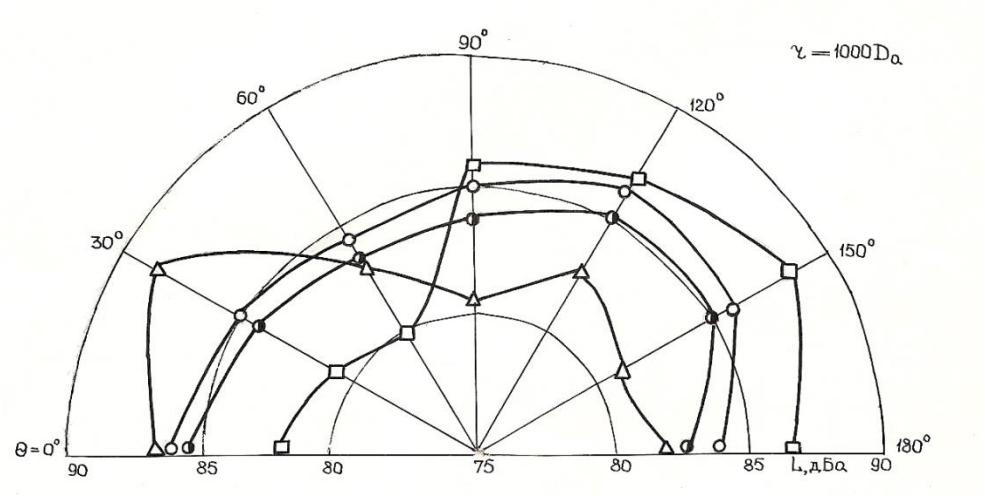


Рис. 5. Кольцевая диаграмма уровней интегрального шума для изделия «9-12»
Δ- отбойная стенка; ○- ШГУ диффузорного типа;
- ШГУ диффузорного типа с завихрителем; □- ШГУ ковшового типа

Анализ результатов диаграмм показывает, что применение шумоглушащего устройства диффузорного типа с завихрителем дает наибольший эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Белов Е.В., Бородин А.И., Дрегалин А.Ф., Кочергин А.В.* Моделирование шумов различных источников с целью исследования их воздействия на выполнение функциональных обязанностей оператора / НТК, Казань: КГТУ им. А.Н. Туполева, 1997.- С.45–46.

2. *Белов Е.В.* Определение параметров акустических полей тепловых двигателей и энергоустановок. Пути снижения интенсивности шума: дис. док. тех. наук Е.В. Белов; КВАКУ.–М., 2001.–256с.

3. ГОСТ 12.1.050-86 Методы измерения шума на рабочих местах.- М.: Изд-во стандартов, 1986.

4. ГОСТ 8.055-73. Выполнение измерений для определения шумовых характеристик.-М.: Изд-во стандартов, 1973.

5. ГОСТ 17187-81. Шумомеры. Общие технические требования и методы испытаний.- М.: Изд-во стандартов, 1981.

6. *Навяжский Г.Л.* Производственный шум, методы его исследования и борьба с ним.- Л.: МЕДГИЗ Ленинградское отделение, 1934.– 80с.

6. *Кочергина К.А., Белов Е.В., Сивков А.Л.* Определение параметров акустических полей средних и лёгких вертолётов //Авиационная техника КГТУ им.А.Н.Туполева-2010г, с.23-25.

7. *Осипов Г.Л., Лопашев Д.З., Федосеева Е.Н., Ильяшук Ю.М.* Измерение шума машин и оборудования.-М.: Издательство комитета стандартов, мер и измерительных приборов при совете министров СССР, 1968.-148с.

8. *Осипов Г.Л., Лопашев Д.З., Федосеева Е.Н., Ильяшук Ю.М.* Измерение шума машин и оборудования.-М.: Издательство комитета стандартов, мер и измерительных приборов при совете министров СССР, 1968.-148с.

9. *Рихтер Л.А., Осипов Г.Л., Тупов В.Б., Гусев В.П.* Санитарно-защитная зона от шума оборудования ТЭЦ // Электрические станции.-1988.-№5.-С.48-51.

THE STUDY OF THE CHARACTERISTICS AKUSTICHESKIH FIELDS GENERIERUNG GAS FLOW TURBOPROP ENGINES

Klymenko Yu.
yhlyshenko@mail.ru
Supervisor: K. Valeeva, Candidate of Technical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The Problem of noise reduction created by aviation technology is currently part of the overall problem of environmental protection and technosphere safety. The essence of the presented study was to study the design of sound attenuating devices that will reduce the noise level. The work was conducted research of the two models sound devices: sound devices are of the diffuser type, and sound device bucket. The analysis of the results of the study showed that the use of a noise-attenuating device of the diffuser type with a swirl gives the greatest effect.

ПОДСЕКЦИЯ 5.7

ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 628.349.64

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА ТНРС

Абзалова А.Г.
zainullin@list.ru
Научный руководитель: А. М. Зайнуллин, канд. техн. наук, доцент,
И.Г. Шайхиев, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань)

Рассмотрен метод окисления с использованием раствора пероксида водорода – как возможность очистки сточных вод производства тринитрорезорцината свинца. Найдено, что увеличению окислительной активности раствора H_2O_2 способствует добавление сульфата железа (II) в условиях реакции Фентона. Выявленные параметры окислительного процесса позволяют достичь высокой степени очистки

Обеспечение экологической безопасности водных объектов от деградации, загрязнения и их рационального использования для нужд народного хозяйства – одна из наиболее значимых проблем, которые требуют ускоренного решения. В нашей стране широко применяются мероприятия по охране окружающей среды, в частности, по очистке сточных вод от производственных объектов. В химической промышленности намечено более массовое использование малоотходных и безотходных технологических процессов, которые дают наивысший экологический эффект. Серьезное внимание уделяется увеличению эффективности очистки производственных сточных вод.

Сточные воды промышленных предприятий довольно часто включают в себя различные поллютанты, которые могут отрицательно повлиять на функционирования биологических очистных сооружений, а при сбросе их в естественные водоемы – привести к ухудшению их режима водопользования.

Одной из отраслей промышленности, в которой используются и образуются высокотоксичные сточные воды (СВ), является производство энергонасыщенных веществ. В частности, в качестве инициирующих взрывчатых веществ, на практике широко применяются азид свинца, гремучая ртуть, тринитрорезорцинат свинца (ТНРС) и другие соединения.

Не маловажен тот факт, что сегодня на проблему очистки сточных вод производства энергонасыщенных веществ обращают мало внимания. Часто после получения целевого продукта, образующиеся сточные воды утилизируют простым, но не экологичным способом, а именно направляются в сливные колодцы, где разложение примесей идет частично в период долгого времени либо многократным разбавлением водой с дальнейшим сбросом в естественные водоемы, что негативно сказывается на экосистеме последнего.

По причине ужесточения норм экологического законодательства для промышленных предприятий, в том числе и оборонных, возникает потребность в разработке эффективных локальных технологий по очистке сточных вод производства химических веществ. Кафедра Инженерной экологии КНИТУ на протяжении последних лет проводит научно-исследовательские работы по разработке технологий очистки сточных вод производства инициирующих взрывчатых веществ, таких как диазодинитрохинон [1-6], калиевая соль динитробензфураксана [7-10]. В настоящее время ведутся экспериментальные работы по очистке сточных вод производства тринитрорезорцината свинца (ТНРС). Последние образуются на одном из оборонных предприятий Российской Федерации.

В литературных источниках имеется достаточно незначительная информация о методах очистки сточных вод производства ТНРС. Нами ранее [11-18] исследовалась возможность предварительной очистки стока производства ТНРС коагуляцией с использованием водных растворов солей Fe(II), Fe(III) и Al. Найдено, что наибольшая степень очистки достигается с использованием соли железа (II) и составила более 87 %.

Сточная жидкость производства ТНРС ярко-желтого цвета имеет характеристики,

приведенные в таблице 1. Из физико-химических параметров исходной сточной жидкости (табл.1) видно, что у образцов высокое значение ХПК, обусловленное, прежде всего, присутствием в ней ароматических соединений.

Таблица 1

Физико-химические показатели исходной сточной воды производства ТНРС

Показатель	Размерность	Значение
ХПК	мг O_2/ $дм^3$	16480,00
pH	–	8,94
Оптическая плотность (D)	–	0,69
Светопропускание (T)	%	21,00
Сухой остаток	$г/дм^3$	24,00
Прокаленный остаток	$г/дм^3$	20,00

Из окислительных методов очистки немалое внимание в технологии водоочистки сегодня представляет экологически чистый окислитель – пероксид водорода (H_2O_2), способный окислять различные загрязнений в составе сточных вод, в том числе и нитросоединений ароматического и алифатического ряда. Интерес к этому окислителю объясняется еще и тем, что на ряде предприятий его применяют в технологических циклах.

Эксперименты по выявлению окислительной способности пероксида водорода по отношению к поллютантам сточной воды производства ТНРС заключались в следующем: в плоскодонные колбы наливалось по 250 $см^3$ исследуемой сточной жидкости и к последней приливался 30 %-ный раствор перекиси водорода в концентрации 3, 5, 10, 30 и 50 $г/дм^3$ в пересчете на чистое вещество реагента. После перемешивания проб в течение 30 минут, образцы сточной жидкости исследовались на различные физико-химические показатели.

Эксперименты показали, что при добавлении пероксида водорода показатель ХПК снижается с увеличением дозировок, а наиболее значимое снижение названного показателя наблюдается в дозировке до 10 $г/дм^3$. Значение показателя ХПК при данной дозировке H_2O_2 снижается практически вдвое – с 16480 до 9045 мг $O_2/дм^3$.

Из полученных физико-химических характеристик видно, что количество хромофорных групп в сточной воде уменьшается о чем свидетельствуют незначительно повышающиеся показатели светопропускания. При этом максимальные дозировки H_2O_2 не позволяют существенно снизить значение ХПК и цветность сточной воды. Данный факт в реальных условиях не позволяет направить исследуемые стоки на биологическую очистку; с учетом высокой стоимости перекиси водорода, обработка последней стоков производства ТНРС индивидуально видится весьма затруднительной.

В настоящее время в практике очистки сточных вод широкое использование и особый интерес среди окислительных методов очистки нашел процесс Фентона. В данном процессе интенсификация окислительной очистки СВ пероксидом водорода протекает при добавлении двухвалентного железа, чаще всего сульфата железа (II). Процесс, как правило, осуществляется в слабокислой среде. В результате реакции разложения перексида водорода образуется гидроксильный радикал ($HO\cdot$) – сильный окислитель, который способствует окислению поллютантов органического характера, содержащихся в сточных водах. Сульфат железа (II), играющий каталитическую роль процесса, в свою очередь, окисляется, соответственно, до сульфата железа (III). Кроме того, ионы двух- и трехвалентного железа выполняют функции коагулянта, и, в этой связи, осуществляют двойную функцию – катализирующую и коагулирующую.

В связи с тем, что в различных литературных источниках сточные воды обрабатывались в различных пропорциях H_2O_2 :$FeSO_4$, было решено выявить влияние каждого реагента на глубину очистки.

На основании литературных данных, вначале количество вводимой пероксида водорода изменялось в интервале от 3 до 50 $г/дм^3$ при дозировке $FeSO_4$ 3 $г/дм^3$. В качестве эталона сравнения был проведен параллельный опыт с применением пероксида водорода без

добавления $FeSO_4$.

Найдено, что наличие сульфата железа (II) способствует снижению дозировок вводимого пероксида водорода в 5 раз для достижения аналогичных значений ХПК в случае применения H_2O_2 без использования катализатора. Наименьшее значение ХПК – 1930 мг O_2/дм^3 наблюдается при дозировке $FeSO_4$ 3 г/дм^3 и H_2O_2 – 50 г/дм^3.

Далее было оценено влияние количества вводимого сульфата железа (II) на уменьшение значений ХПК очищаемых сточных вод. Для этого дозировка $FeSO_4$ варьировалась в интервале 1-10 г/дм^3 при концентрации перекиси водорода 8 г/дм^3. Определено, что увеличение вводимых количеств реагента приводит к значительному уменьшению рассматриваемого параметра лишь в концентрациях до 5 г/ дм^3.

Из физико-химических характеристик видно, что при увеличении дозировки H_2O_2 количество образовавшегося осадка уменьшается, что свидетельствует о том, что при этом в системе соотношении реагентов увеличивается окислительная и уменьшается их коагуляционная способность.

Также физико-химические показатели, которые определены при изменяющейся дозировке сульфата железа (II), показывают, что с увеличением содержания последнего интенсивность окислительного процесса возрастает. В то же время, увеличивается количество осадка, что свидетельствует об интенсификации коагуляционных процессов.

На основе проведенных исследований очистки СВ пероксидом водорода в условиях реакции Фентона, определено соотношение реагентов, обеспечивающее максимальное снижение значений ХПК. При дозировке H_2O_2 50 г/л и $FeSO_4$ 3 г/л значение ХПК достигает 1930 мгO_2/л, эффективность очистки составляет более 88 %.

Некоторые результатов проведенных исследований были промышленно опробованы и дали положительные результаты на ряде предприятий России по производству энергонасыщенных соединений. Таким образом, проведенный анализ результатов показал возможность их применения для снижения токсичности сточных вод предприятий по выпуску спецпродуктов, а также для предприятий органического синтеза и красителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Фридланд С.В.* Очистка сточных вод производства диазодинитрохинона // Безопасность жизнедеятельности. –2009.– № 1 (97).– С. 38-39.

2. *Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Гильманов Р.З., Фридланд С.В.* Исследование очистки сточных вод производства диазодинитрохинона в условиях реакции фентона // Депонированная рукопись ВИНИТИ – № 781 в 2007–27.07.2007.

3. *Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Фридланд С.В., Мусин Р.З., Ризванов И.Х.* Исследование состава полюантов и изменения их свойств в ходе физико-химической очистки сточных вод производства диазодинитрохинона // Химия в интересах устойчивого развития. –2007.– Т. 15.– № 4.– С. 427-436.

4. *Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Фридланд С.В.* Исследование каталитической очистки сточных вод производства диазодинитрохинона // Безопасность жизнедеятельности.– 2005. – № 7.– С. 46-49.

5. *Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Фридланд С.В.* Сорбенты для очистки сточных вод производства диазодинитрохинона // Экология и промышленность России.– 2004.– № 6.– С. 20-21.

6. *Зайнуллин А.М.* Экологическое сопровождение промышленного производства диазодинитрохинона: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Казань– 2006.–168с.

7. *Вахидова И.М., Шайхиев И.Г., Гильманов Р.З., Хусаинов Р.М., Зайнуллин А.М.* Исследование методов очистки сточных вод производства нитропроизводных соединений // Безопасность жизнедеятельности.– 2013.– №9 (153).– С. 9-13.

8. *Вахидова И.М., Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Гильманов Р.З., Хусаинов Р.М., Вахидов Р.М., Галиханов М.Ф., Бобрешова Е.Е.* Очистка сточных вод производства инициирующих

взрывчатых веществ на базе нитрофураксанов // Экология и промышленность России. – 2010.– № 10.– С. 47-49.

9. *Вахидова И.М., Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Гильманов Р.З., Хусаинов Р.М., Вахидов Р.М., Галиханов М.Ф., Бобрешова Е.Е.* Очистка сточных вод от производных фураксана // Водоочистка.– 2010.– № 11.– С. 34-38.

10. *Вахидов Р.М., Вахидова И.М., Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Галиханов М.Ф.* Очистка стоков производства 4,6 - динитробензофуроксана электрохимическим способом // Вестник казанского технологического университета.– 2010.– № 7.– С. 380-384.

11. *Зайнуллин А.М., Зайнуллина Л.Ф.* Очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца мембранным способом // В сборнике: энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды. Сборник докладов III международной научно-технической конференции г. Белгород. –2017.– С. 31-35.

12. *Зайнуллин А.М., Зайнуллина Л.Ф., Шафигуллина Г.М., Шайхиев И.Г., Дмитриева Е.А.* Влияние pH среды на эффективность очистки сточных вод производства тринитрорезорцината свинца в условиях реакции фентона // Вестник технологического университета. –2017. –Т. 20. –№ 13. –С. 123-127.

13. *Акчурина Р.Ф., Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Шафигуллина Г.М., Зайнуллина Л.Ф.* Сорбционная очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца с использованием активированных углей // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 24. – С. 137-140.

14. *Абзалова А.Г., Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Шафигуллина Г.М., Гречина А.С., Зайнуллина Л.Ф.* Сорбционная очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца альтернативными сорбционными материалами // Вестник технологического университета. –2017. –Т. 20. –№ 18. –С. 142-146.

15. *Шайхиев И.Г., Зайнуллин А.М., Шафигуллина Г.М., Гильманов Р.З.* Окислительная очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца пероксидом водорода // Вестник технологического университета. –2016. –Т. 19. –№ 12. –С. 176-179.

16. *Шайхиев И.Г., Гатина Ф.Р., Зайнуллин А.М., Назмутдинова Г.М.* Коагуляционная очистка сточных вод производства ТНРС // Вестник технологического университета. –2015. –Т. 18. –№ 14. –С. 220-222.

17. *Шайхиев И.Г., Гатина Ф.Р., Зайнуллин А.М., Назмутдинова Г.М.* Влияние pH на коагуляционную очистку сточных вод производства ТНРС сульфатом железа (II) // Вестник технологического университета. –2015. – Т. 18. – № 16. – С. 316-317.

18. *Шайхиев И.Г., Гатина Ф.И., Зайнуллин А.М., Назмутдинова Г.М.* Коагуляционная очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца // Журнал экологии и промышленной безопасности. –2015. –№ 1-2. –С. 65-66.

OXIDATION METHOD IN WASTEWATER TREATMENT TNRS PRODUCTION

Abzalova A.

zainullin@list.ru

Supervisor: A. Zaynullin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
I. Shaihiev, Doctor of Technical Sciences, Professor

(Kazan National Research Technological University, Kazan)

Considered oxidation method using hydrogen peroxide solution - as the ability wastewater Lead Styphnate production. It was found that an increase in activity of the oxidizing solution H_2O_2 promotes the addition of iron sulfate (II) in a Fenton reaction. Identified parameters of the oxidation process can achieve a high degree of purification

УДК 628.349.08

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Абзалова А.Г.
zainullin@list.ru
Научный руководитель: А. М. Зайнуллин, канд. техн. наук, доцент,
И.Г. Шайхиев, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань)

Рассмотрены физико-химические методы очистки сточных вод производства калиевой соли 4,6-динитробензофуроксана и диазодинитрохинона. Приведены некоторые характеристики сточных до и после очистки. Предложены технологические этапы очистки сточных вод производства калиевой соли 4,6-динитробензофуроксана и диазодинитрохинона.

Проблема охраны окружающей среды требует безотлагательного использования высокоэффективных систем, обеспечивающих безопасность водоемов от загрязнений. Основными источниками поллютантов водоемов, которые приводят к снижению качества воды и ухудшению оптимальных условий жизнедеятельности гидробионтов, являются промышленные сбросы сточных вод. На сегодняшний день многие водоемы мира в результате загрязнения потеряли свое значение как источника рыбохозяйственного и санитарно-бытового водопользования. Проблема очистки промышленных сточных вод и подготовки воды для технических и хозяйственно-питьевых нужд с каждым годом становится все более актуальной. Трудности очистки связаны с большим разнообразием примесей в сточных водах, качественный и количественный состав которых постоянно изменяется ввиду возникновения новых производств и изменения технологии существующих. Сегодня защита окружающей среды от загрязнения примесями сточных вод – одна из ключевых задач. Мероприятия, направленные на очистку воды от загрязнений, помогут сохранить чистыми воздушный и водный бассейны. Для снижения вредного влияния промышленного использования воды на биосферу земного шара необходима более продуманная глубокая очистка сточных вод.

В нашей стране широко применяются меры по охране окружающей среды, в частности по очистке производственных сточных вод. Большое внимание уделяют увеличению эффективности очистки производственных сточных вод.

Одной из отраслей промышленности, интенсивно развивающихся в последнее десятилетие, является производство инициирующих взрывчатых веществ. Интерес к данным соединениям объясняется возросшим их применением в средствах инициирования взрывчатых веществ, используемых в военном деле, а также в строительстве и спорте.

В данной работе рассмотрены различные подходы к обезвреживанию сточных вод производства инициирующих взрывчатых веществ калиевой соли 4,6-динитробензфураксана (КДФ) и диазодинитрохинона (ДДХ). Предварительная локальная очистка от избыточной токсичной органики имеет цель подготовки сточной воды к последующей обработке биохимическими методами.

В данной работе представлены результаты по очистке сточных вод различными методами, конечной целью которых является снижение концентрации органических соединений до уровня, приемлемого для биологической очистки.

Ввиду того, что КДФ и ДДХ являются инициирующими взрывчатыми веществами, то после выделения целевого продукта, сточные воды подвергают обработке избытком сульфита натрия.

Образующиеся после реагентной обработки сточные воды производства КДФ коричневого цвета, имеют следующие показатели: ХПК= 47936 мг O_2/л, pH = 10,2, оптическая плотность (D) – 1,28, светопропускание (T) – 5,9%. Конечный состав продуктов в сточной воде КДФ не определен, однако, анализ продукта в УФ-спектре показал наличие

нитрофенолов и их производных, с заместителями в мета- и пара- положениях и ароматических соединений с пятичленным циклом.

Сточные воды производства ДДХ имеют оранжевый цвет, которые по результатам проведенных анализов показали следующие параметры: ХПК= 18750 мг O_2/л, pH = 0,01, оптическая плотность (D) – 0,15, светопропускание (T) – 71,2%.

Высокое значение ХПК, как видно из данных физико-химических показателей исходного стока производства ДДХ, обусловлено прежде всего наличием в ней ароматических соединений. Их наличие подтверждается присутствием в УФ-спектре исходной сточной жидкости двух пиков с $\lambda = 253$ нм, $\lambda = 320$ нм, которые соответствуют областям поглощения ароматических соединений и их нитрозамещенным продуктам.

Для нейтрализации сильно кислой сточной воды ДДХ был выбран водный раствор Na_2CO_3 ввиду его доступности и применением в производственном цикле. Отмечено, что в результате нейтрализации сточной жидкости оранжевый цвет сменился темно-коричневым.

На основании проведенного хромато-масс-спектрометрального исследования можно сделать следующий вывод: в результате реакции нейтрализации произошли, так называемые, реакции азосочетания, которые привели к образованию в сточной воде 4^x азопродуктов, изменивших цвет жидкости, 2^x нитрозамещенных ароматических углеводородов (динитрофенол, динитропирокатехин), не вступивших в реакции азосочетания, из неорганической части в сточной жидкости присутствует NaCl.

Промышленные сточные воды, которые содержат нитропродукты, перед сбросом на биологические очистные сооружения необходимо подвергнуть предварительной локальной химической очистке. Окислительные методы являются химическими способами обработки сточной жидкости, которые получили сегодня широкое распространение.

Особый интерес в практике очистки сточных вод среди окислительных методов очистки в настоящее время широкое применение нашел процесс Фентона. Данный процесс заключается в комбинации соединений двухвалентного железа, чаще всего сульфата железа (II), и пероксида водорода.

Нами изучена очистка сточных вод калиевой соли 4,6-динитробензфураксана и ДДХ окислительным методом с помощью раствора перекиси водорода индивидуально и в условиях реакции Фентона.

Ввиду того, что процесс Фентона, как правило, по данным литературных источников, проводится в кислой среде, в последующем исследовалось окисление в слабокислой среде, которая достигалась добавлением в очищаемый сток КДФ серной кислоты. В результате реакции Фентона образуется сильный окислитель – гидроксильный радикал (HO·), который способствует окислению поллютантов органического характера, содержащихся в сточной жидкости. Сульфат железа (II), проявляющий каталитические свойства процесса, в свою очередь окисляется соответственно до сульфата железа (III). Кроме того, ионы двух- и трехвалентного железа выполняют функции коагулянта, и в этой связи осуществляют двойную функцию – катализирующую и коагулирующую.

Исследования выполнялись при различных соотношениях вышеназванных соединений. Установлено, что более глубоко очистка сточной жидкости производства калиевой соли 4,6-динитробензфураксана проходила в кислой среде в присутствии сульфата железа (II) (ХПК = 6800 мгO_2 /л). Отчасти данному обстоятельству способствует окисление части органических примесей, содержащихся в сточной жидкости, серной кислотой. Подобная тенденция снижения ХПК наблюдалась и при окислении сточных вод производства ДДХ.

Одним из эффективных видов физико-химической очистки сточных вод является сорбция на пористых сорбентах. В данной работе исследовалась возможность очистки сточных вод, образующихся в производстве КДФ и ДДХ, сорбционным методом, где в качестве сорбентов использовались активированные угли марок СКТ-3, БАУ, ОУ-А, и СКД-515. Учитывая высокую стоимость названных сорбентов, с целью снижения затрат на очистку сточных вод, параллельно с активированными углями в качестве альтернативных сорбентов исследовались диатомит и опилки деревьев лиственных пород.

Типовой эксперимент проводился следующим образом: к сточной жидкости присыпали вышеназванные сорбенты в количестве 1 г/л, 3 г/л и 10 г/л соответственно. Образцы сточных жидкостей, содержащих сорбенты, интенсивно перемешивались и по истечении определенного времени (0.5, 1, 2, 3 и 24 ч) отбирались пробы для определения значений ХПК. Степень очистки во всех экспериментах оценивалась величиной ХПК.

Из проведенных экспериментов видно, что с увеличением дозировки сорбента конечные значения ХПК имеют меньшую величину, что вполне закономерно. Значения ХПК имеют одинаковую тенденцию спада с увеличением времени контакта сорбента со сточной жидкостью. Наибольшее уменьшение значений ХПК наблюдалось в первые три часа, дальнейшее увеличение времени взаимодействия не приводит к значительному снижению искомого параметра.

Эксперименты, проведенные с другими марками активированных углей, показали аналогичные тенденции.

По эффективности сорбционной очистки в статических условиях, определяемого по конечным значениям показателя ХПК, исследуемые образцы активированных углей можно расположить в следующий ряд:

для сточных вод КДФ:

ОУ-А > СКД-515 > БАУ > СКТ-3;

для сточных вод ДДХ:

БАУ > ОУ-А > СКТ-3 > СКД-515.

В случае использования диатомита и опилок при обработке сточных вод КДФ значения ХПК показали сложный характер. В первый промежуток времени наблюдается снижение показателя ХПК до значения 30000 мгO_2 /л (18400 мгO_2 /л – при опыте с опилками), дальнейшее взаимодействие приводит к увеличению искомого показателя, далее снова значение ХПК уменьшается. Вероятно, в данном случае наблюдается протекание процессов сорбции и десорбции органических примесей с поверхности сорбентов. После трех часов контакта сточной жидкости с опилками значения ХПК практически не изменяются, выходя на плато.

Практически сравнимые конечные значения ХПК с образцами, обработанными активированными углями, имеет сточная жидкость производства ДДХ, в которой в качестве сорбента использовался диатомит. Самое низкое значение ХПК, равное 1655 мг O_2/л, имеет место при его дозировке 10 г/л после 3 ч контактирования.

Использование диатомита несмотря на то, что данный сорбент проявил самые лучшие обесцвечивающие свойства среди исследуемых в обоих случаях, не приводит к полному обесцвечиванию сточной воды. Однако ввиду малой стоимости (~ 1 руб./кг) и доступности, его использование экономически оправдано. Причем его можно применять как на начальном этапе очистки сточных вод, так и для доочистки стоков перед сбросом на биологические очистные сооружения.

Таким образом, на основании проведенных экспериментов можно сделать следующий вывод: очистка сточных вод производства КДФ и ДДХ окислением не приводит к значительному снижению значения ХПК до показателей, позволяющих отправлять СВ на биологическую очистку. В этой связи технология очистки СВ производства КДФ и ДДХ видится:

для ДДХ в 3 стадии: первая – нейтрализация, вторая – окисление перекисью водорода в присутствии железосодержащего катализатора, третья – сорбция диатомитом;

для КДФ в 2 стадии: первая – окисление перекисью водорода в присутствии железосодержащего катализатора, вторая – сорбция диатомитом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Фридланд С.В.* Очистка сточных вод производства диазодинитрохинона // Безопасность жизнедеятельности. –2009.– № 1 (97).– С. 38-39.

2. *Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Гильманов Р.З., Фридланд С.В.* Исследование очистки

сточных вод производства диазодинитрохинона в условиях реакции фентона // Депонированная рукопись ВИНИТИ – № 781 в 2007–27.07.2007.

3. *Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Фридланд С.В., Мусин Р.З., Ризванов И.Х.* Исследование состава полюантов и изменения их свойств в ходе физико-химической очистки сточных вод производства диазодинитрохинона // Химия в интересах устойчивого развития. –2007.– Т. 15.– № 4.– С. 427-436.

4. *Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Фридланд С.В.* Исследование каталитической очистки сточных вод производства диазодинитрохинона // Безопасность жизнедеятельности.– 2005. – № 7.– С. 46-49.

5. *Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Фридланд С.В.* Сорбенты для очистки сточных вод производства диазодинитрохинона // Экология и промышленность России.– 2004.– № 6.– С. 20-21.

6. *Зайнуллин А.М.* Экологическое сопровождение промышленного производства диазодинитрохинона: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Казань– 2006.–168с.

7. *Вахидова И.М., Шайхиев И.Г., Гильманов Р.З., Хусаинов Р.М., Зайнуллин А.М.* Исследование методов очистки сточных вод производства нитропроизводных соединений // Безопасность жизнедеятельности.– 2013.– №9 (153).– С. 9-13.

8. *Вахидова И.М., Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Гильманов Р.З., Хусаинов Р.М., Вахидов Р.М., Галиханов М.Ф., Бобрешова Е.Е.* Очистка сточных вод производства инициирующих взрывчатых веществ на базе нитрофураксанов // Экология и промышленность России. – 2010.– № 10.– С. 47-49.

9. *Вахидова И.М., Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Гильманов Р.З., Хусаинов Р.М., Вахидов Р.М., Галиханов М.Ф., Бобрешова Е.Е.* Очистка сточных вод от производных фураксана // Водоочистка.– 2010.– № 11.– С. 34-38.

10. *Вахидов Р.М., Вахидова И.М., Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Галиханов М.Ф.* Очистка стоков производства 4,6 - динитробензофуроксана электрохимическим способом // Вестник казанского технологического университета.– 2010.– № 7.– С. 380-384.

11. *Зайнуллин А.М., Зайнуллина Л.Ф.* Очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца мембранным способом // В сборнике: энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды. Сборник докладов III международной научно-технической конференции г. Белгород. –2017.– С. 31-35.

12. *Зайнуллин А.М., Зайнуллина Л.Ф., Шафигуллина Г.М., Шайхиев И.Г., Дмитриева Е.А.* Влияние pH среды на эффективность очистки сточных вод производства тринитрорезорцината свинца в условиях реакции фентона // Вестник технологического университета. –2017. –Т. 20. –№ 13. –С. 123-127.

13. *Акчурина Р.Ф., Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Шафигуллина Г.М., Зайнуллина Л.Ф.* Сорбционная очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца с использованием активированных углей // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 24. – С. 137-140.

14. *Абзалова А.Г., Зайнуллин А.М., Шайхиев И.Г., Шафигуллина Г.М., Гречина А.С., Зайнуллина Л.Ф.* Сорбционная очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца альтернативными сорбционными материалами // Вестник технологического университета. –2017. –Т. 20. –№ 18. –С. 142-146.

15. *Шайхиев И.Г., Зайнуллин А.М., Шафигуллина Г.М., Гильманов Р.З.* Окислительная очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца пероксидом водорода // Вестник технологического университета. –2016. –Т. 19. –№ 12. –С. 176-179.

16. *Шайхиев И.Г., Гатина Ф.Р., Зайнуллин А.М., Назмутдинова Г.М.* Коагуляционная очистка сточных вод производства ТНРС // Вестник технологического университета. –2015. –Т. 18. –№ 14. –С. 220-222.

17. *Шайхиев И.Г., Гатина Ф.Р., Зайнуллин А.М., Назмутдинова Г.М.* Влияние pH на

коагуляционную очистку сточных вод производства ТНРС сульфатом железа (II) // Вестник технологического университета. –2015. – Т. 18. – № 16. – С. 316-317.

18. *Шайхиев И.Г., Гатина Ф.И., Зайнуллин А.М., Назмутдинова Г.М.* Коагуляционная очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца // Журнал экологии и промышленной безопасности. –2015. –№ 1-2. –С. 65-66.

TECHNOLOGICAL STAGES WASTEWATER TREATMENT ENERGY-SATURATED SUBSTANCE PRODUCTION

Abzalova A.

zainullin@list.ru

Supervisor: A. Zaynullin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
I. Shaihiev, Doctor of Technical Sciences, Professor

(Kazan National Research Technological University, Kazan)

Physico-chemical methods of wastewater production of the potassium salt of 4,6-dinitrobenzofuroksan and diazodinitrohinon. Some characteristics of waste before and after treatment. Proposed technological stages of wastewater production of the potassium salt of 4,6-dinitrobenzofuroksan and diazodinitrohinon.

УДК 628.345

ОЧИСТКА ВОД НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ФИЛЬТРАЦИОННО-СОРБЦИОННЫМ МЕТОДОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛОДОВЫХ ОБОЛОЧЕК ЗЕРЕН ПШЕНИЦЫ

Васильева А.С.

Nastia-v7@mail.ru

Научный руководитель С.В. Степанова, канд. техн. наук, доцент

(Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань)

В работе исследовано использование химически модифицированных плодовых оболочек зерен пшеницы в качестве фильтрующей загрузки при очистке сточных вод нефтехимического производства. Показано, что предложенные адсорбционные материалы на основе отходов злаковых культур можно использовать для очистки вод от ионов алюминия и меди на локальных очистных сооружениях.

В связи с резко возрастающей урбанизацией и индустриализацией увеличивается спрос и на добычу нефти для использования её в дальнейшем в качестве сырья во многих сферах. Из-за этого возникла необходимость в использовании предприятий по переработке нефти, которая является загрязняющим фактором для применяемой при этом воды.

В республике Татарстан развита нефтедобывающая и перерабатывающая промышленность, на нее приходится 33,9 % от всей промышленности. По данным проверок на этой территории комплексы очистки стоков нефтеперерабатывающих предприятий сильно изношены, в среднем в их сточных водах в 3 раза превышена предельно допустимая концентрация по металлам. Некачественная очитка больших объемов сброса воды на этих предприятиях может являться серьезной проблемой для экологического фона нашей планеты и для человека, в целом, поэтому тема очистки вод и внедрения в неё новых технологий всегда будет являться актуальной.

Технология очистки сточных вод на биологических очистных сооружениях происходит следующим образом:

1) стоки с предприятий города попадают в водосборник и доставляются на очистную станци;

2) механическая очистка – перекачивание её в специальный отстойник (через песколовки), в котором происходит осаждение крупных частиц мусора и их удаление из воды;

3) затем происходит стадия осветления воды с использованием коагулянтов и отправление её в пресс-фильтры, через которые вода пропускается под большим давлением и улавливающие все оставшиеся частиц;

4) далее вода отправляется на химическую, физико-химическую или биологическую очистку;

5) обеззараживание [1].

Металлы оказывают канцерогенное, мутагенное и патогенное воздействие на организм человека. Вода, загрязненная ими, может представлять серьезную опасность, поэтому существуют методы очистки сточных вод от ионов металлов. Наиболее используемый в практике метод – реагентный, который состоит из процессов нейтрализации, окислительно-восстановительных реакций, осаждения и обезвоживания образующегося осадка, и помогает почти полностью удалять из стоков ионы металлов. При этом методе происходит переход металлов в гидроксидные соединения благодаря повышению pH усредненных стоков до pH их гидратообразования с последующим осаждением и фильтрацией.

В проведенных ранее работах на кафедре инженерной экологии ФГБОУ ВО КНИТУ показано, что очистка модельных вод от ионов металлов модифицированными растительными отходами позволяет снизить их концентрации до нормативов [2].

На очистных сооружениях ПАО «Нижнекмаскнефтехим» применяются адсорберы загруженные активированным углем.

В данной работе предлагается заменить уголь на более дешевые адсорбционные материалы на основе модифицированных плодовых оболочек зерен пшеницы (ПОЗП), являющимися отходами ОАО «Набережночелнинский элеватор». Это позволит в дальнейшем сократить количество растительных отходов, которые являются источником биологического загрязнения окружающей среды, а также повысить эффективность очистки сточных вод, а также снизить ее себестоимость.

На первом этапе проведена модификация поверхности ПОЗП: 30 г образца помещают в колбу, приливают 300 мл 1%-ного раствора серной кислоты, помещают на качалку, перемешивают в течении одного часа. Фильтруют, и высушивают образцы до постоянной массы.

На втором этапе собирают установку для проведения фильтрационно-адсорбционной очистки сточных вод ПАО «Нижнекамскнефтехим», которая состоит из емкости, делительной воронки, заполненной фильтрующей загрузкой, и приемной колбы. Образцы отбирались через каждый час до достижения точки проскока. В очищенной воде определялось содержание ионов меди [3] и алюминия [4] (таблица 1).

Таблица 1

Результаты экспериментов

Содержание ионов, мг/л	Al^{3+}	Cu^{2+}
Исходная проба воды	0,47	0,052
Очищенная вода	0,44	0,0041

Таким образом, исходя из проведённых опытов, можно сказать, что модифицированные плодовые оболочки зерен пшеницы можно использовать для очистки вод от ионов алюминия и меди на локальных очистных сооружениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Очистка сточных вод. URL:http://water2you.ru/articles/khimicheskie-elementy-v-vode-i-pokazateli-kachestva-vod/zhelezo-v-vode (дата обращения: 11.07.2019).

2. *Степанова С.В.* Использование листового опада в качестве сорбционного материала по отношению к ионам железа / А.Ш. Шаймарданова, С.В. Степанова // Journal of Scientific Research Publications: Nature, ecology and national economy – 2015. Т.1. – № 2(22). – Р. 112

3. ПНД Ф 14.1:2:4.48-96. Количественный химический анализ вод [Текст]. – Москва, 2011. – 22 с.

4. ПНД Ф 14.1:2:4.166-2000. Количественный химический анализ вод [Текст]. – Москва, 2004. – 21 с.

CLEANING OF WATER OF PETROCHEMICAL PRODUCTION BY FILTRATION-SORPTION METHOD WHEN USING MODIFIED FRUIT SHEETS OF WHEAT GRAINS

Vasiljeva A.
Nastia-v7@mail.ru
Supervisor S. Stepanova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technological University, Kazan)

In the work, the use of chemically modified fruit shells of wheat grains as a filtering load during wastewater treatment of petrochemical production was investigated. It is shown that the proposed adsorption materials based on the waste of cereals can be used to purify water from aluminum and copper ions at local sewage treatment plants.

УДК 504.3.054

МОНИТОРИНГ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ АВТОТРАНСПОРТА В ГОРОДЕ КАЗАНИ

Васильева М.А., Шагидуллин А.Р.
vasileva_masha1@mail.ru
Научный руководитель: Ю.А. Тунакова, д-р хим. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Рассмотрены основные подходы и проблемы расчетного определения поступления загрязняющих веществ от передвижных источников. Приводятся результаты расчета концентраций компонентов выбросов в зоне действия автомагистралей на основе длительных натурных определений интенсивности движения и марочного состава автотранспортных средств по участку автомагистралей на территории г. Казани. Приводятся рекомендации по уменьшению воздействия автомагистралей на качество приземного слоя атмосферного воздуха.

Вклад автотранспорта в загрязнение атмосферного воздуха городов с каждым годом значительно увеличивается и составляет более чем 70% от общего валового выброса. Ежегодно количество транспортных единиц увеличивается в среднем на 30%.

Передвижные источники загрязнения выбрасывают в атмосферный воздух десятки наименований химических веществ. По объему больше всего поступает окись углерода (до 70%), канцерогенные полициклические ароматические углеводороды (около 19%) и окислы азота (около 9%). Сжигание 1 т топлива бензиновым двигателем автомобиля приводит к образованию в среднем 600 кг окиси углерода. В отличие от бензиновых, дизельные двигатели выбрасывают значительно больше дыма, состоящего в основном из несгоревшего углерода. Кроме того, работа двигателей внутреннего сгорания сопровождается выбросами в атмосферу соединений тяжелых металлов. [1]. Механизм воздействия передвижных источников загрязнения имеет ряд специфических особенностей по сравнению со стационарными источниками. К таким особенностям относятся:

- постоянно растущие объемы выбросов;
- концентрация большого количества транспортных средств на сравнительно небольшой территории и их массовое проникновение в зоны жилой застройки;

- хроническое отставание темпов развития дорожной сети от темпов автомобилизации.

Усугубление проблемы идет за счет того, что в отличие от стационарных источников, выбросы передвижных, без разбавления воздушными массами, сразу поступают в зону дыхания человека, создавая локальные высокие уровни загрязнения [2-4].

В этих условиях все более актуальной становится проблема организации экологического мониторинга зон воздействия автотранспорта и контроль за выбросами передвижных источников загрязнения.

Одним из основных элементов системы контроля и учета выбросов автотранспорта является – натурное обследование структуры и интенсивности автотранспортных потоков на городских автомагистралях. Результаты обследования являются основой для оценки вклада автотранспорта в загрязнение атмосферного воздуха города и управления дорожным движением для уменьшения вклада передвижных источников загрязнения в уровень загрязнения воздушного бассейна города. Итоги этих работ могут быть использованы при разработке планов городского строительства, планов реконструкции и развития улично-дорожной сети города. В современном мире мониторинг является неотъемлемой частью нашей жизнь, чтобы поддерживать здоровую атмосферу окружающей среды и здоровье человека. Учитывая сложность организационного, методического и экономического характера, целесообразно с помощью расчетных методов определить компоненты выбросов передвижных источников в зоне действия автомагистрали.

При расчетном определении величины выброса от передвижных источников действует большое количество факторов, определяющих формирование концентраций компонентов выбросов в зоне действия автомагистралей, учет которых определяет точность получаемых результатов. На сегодняшний день существуют множество методик определения выбросов от автотранспорта. В данной работе используется программа «Эколог» и методика [6], которая позволяет рассчитать для конкретной автодороги выброс i-го загрязняющего вещества автотранспортным потоком, на всей протяженности которой структура и интенсивность автотранспортных потоков изменяется не более, чем на 15-20%. Основная формула методики:

$$M_{Li} = \frac{L}{3600} \sum_1^k M_{k,i}^{П} G_k r_{Vi} \text{ (1), где}$$

$M_{k,i}^{П}$ - (г/км) - пробеговый выброс i-го вредного вещества автомобилями k-й группы для городских условий эксплуатации, определяемый по таблице;

k – количество групп автомобилей;

G_k - фактическая наибольшая интенсивность движения, т.е. количество автомобилей каждой из К групп, проходящих через фиксированное сечение выбранного участка автомагистрали в единицу времени в обоих направлениях по всем полосам движения;

r_{Vi} - поправочный коэффициент, учитывающий среднюю скорость движения транспортного потока (км/час) на выбранной автомагистрали (или ее участке), определяемый по таблице;

$\frac{1}{3600}$ - коэффициент пересчета «час» в «сек»;

L (км) - протяженность автомагистрали (или ее участка) из которого исключена протяженность очереди автомобилей перед запрещающим сигналом светофора и длина соответствующей зоны перекрестка (для перекрестков, на которых проводились дополнительные обследования).

Методика расчета выбросов движущегося автотранспорта применяется при расчете рассеяния выбросов от автотранспорта таких примесей, как азота диоксид (NO_2), азота оксид (NO) ,углерод (сажа), сера диоксид(SO_2) , углерод оксид (CO), бенз(а)пирен, формальдегид, бензин, керосин.

Данное исследование посвящено оценке поступления примесей с выбросами передвижных источников загрязнения, на примере нагруженной автомагистрали на улице Павлюхина города Казани. В ходе изучения схемы улично-дорожной сети г. Казани, анализа

информации о транспортной нагрузке, обнаружено, что на автомагистрали, на улице Павлюхина, зафиксирована повышенная интенсивность движения и наличие перекрестков с высокой транспортной нагрузкой.

Максимальные из полученных результатов расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Поступление примесей с выбросами автотранспорта в часы пик по исследуемой магистрали

Наименование ЗВ	Расчет максимальной массы поступления компонентов выбросов	Максимальная концентрация в долях ПДК сс
азота диоксид	0,548	2,8
азота оксид	0,089	0,45
сажа	0,220	0,5
серы диоксид	0,004	0,23
углерода оксид	1,060	1,05
бенз(а)пирен	1,688	9,5
формальдегид	1,688	1,9
бензин	0,226	0,03
керосин	0,067	0,07

Установлено превышение нормативов ПДК по диоксиду азота, оксиду углерода и формальдегиду. По данным обследования, в дальнейшем можно будет оценить вклад автотранспорта в общее загрязнение атмосферного воздуха на исследуемом участке территории.

Загрязнение воздуха является серьезной экологической проблемой, особенно в стремительно развивающихся городах. Создаются многие мероприятия по сохранению уровня чистоты воздуха [7]. Для снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха в зоне автомагистралей, одним из методов может быть посадка зеленых насаждений по обочинам автомагистрали, причем для различных типов зеленых насаждений установлены величины снижения концентраций. Так для одного ряд деревьев с кустарником высотой до 1,5 м на полосе газона 3 - 4 м, снижение концентрации достигает 10%. Если провести мероприятие по озеленению автомагистрали в четыре ряда деревьев с кустарником высотой 1,5 м на полосе газона 25 - 30 м, то снижение концентрации произойдет на 50%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р., Новикова С.В.* Инвентаризация выбросов от автомобильного транспорта в зонах концентрации полимерных производств // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 3. С. 139-142.

2. *Донченко В. В., Кунин Ю. И., Казьмин Д. М.* Транспортные проблемы городов и механизмы их решения // Научный вестник автомобильного транспорта. — М.: ОАО «НИИАТ», 2012.

3. *Шагидуллин А. Р., Магдеева А. Р., Гилязова А. Ф., Тунакова Ю.А., Шагидуллин Р. Р.* Количественная оценка выбросов автотранспорта в атмосферный воздух г.Казани //Сб. тр. Международной научной конференции «Химия и инженерная экология»-XVII Материалы конференции. Сборник статей. Казань, 2017 , С. 145-148.

4. *Шагидуллин А.Р., Шагидуллина Р.А.* Расчет загрязнения атмосферы г. Казани выбросами автотранспортных потоков //Экология и промышленность России, 2013. № 4. - С. 51-55.

5. *Винсент Саммерс* Влияние загрязнения воздуха от транспортных средств // Декодированная наука. 2013. С. 45-51.

6. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения городов СПб.: НИИ Атмосфера.,2010 –16 с.

7. *Полонский В.М.* Перспективы и возможности улучшения состояния атмосферы при работе автотранспорта в черте города // Безопасность транспортных систем. Труды 3

международной НПК конференции. – Самара, 2002. - С. 177-180.

MONITORING OF EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES FROM ROAD TRANSPORT IN THE CITY OF KAZAN

Vasilyeva M., Shagidulin A.
vasileva_masha1@mail.ru
Supervisor: Yu. Tunakova, Doctor of Chemical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The main approaches and problems of calculated determination of pollutant intake from mobile sources are considered. Results of calculation of concentrations of components of emissions in a zone of action of highways on the basis of long natural definitions of intensity of the movement and brand structure of vehicles on a site of highways in the territory of Kazan are resulted. Recommendations for reducing the impact of highways on the quality of the surface layer of atmospheric air are given.

УДК 504.054

МОНИТОРИНГ ФОРМАЛЬДЕГИДА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

Васильева М.А., Якунин С.А.
vasileva_masha1@mail.ru, yakuninserega@bk.ru
Научный руководитель: Э.В. Гоголь, канд. хим. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Статья обосновывает необходимость мониторинга формальдегида в атмосферном воздухе. Авторы оценивают риски, создаваемые формальдегидом здоровью человека и состоянию окружающей среды. Формальдегид используется при производстве клея, покрытий для древесно-стружечных плит и фанеры, в производстве стерилизующих и дезинфицирующих средств, лекарств, косметики. Авторы особое внимание уделяют токсичности формальдегида, его влиянию на здоровье человека, в частности, возможности возникновения злокачественных опухолей у человека.

Согласно полученным данным [1], многие специалисты в области инженерной защиты окружающей среды утверждают, что в атмосферном воздухе находится огромное количество химических элементов, смесей, биологических и бактериальных организмов. Каждый из них обладает способностью влиять на организм человека и природу в целом как положительно, так и отрицательно. Существуют официальные стандарты, в соответствии с которыми конкретные элементы имеют пределы допустимой концентрации (ПДК), измеряемой в мг/м^3 (например, 0,5 мг/м^3). Это означает, что, если такая доза будет превышена в воздухе, вещество станет опасным, и организм человека серьезно пострадает [2].

Проблема борьбы с фотохимическим смогом в последние годы стала особенно актуальной задачей. Негативное влияние смога, особенно в теплое время года – летом, разрушает здоровье населения и государства, вызывает болезни и массовые смерти растительного и животного мира [3,4].

На основании многолетних наблюдений о состоянии воздушного бассейна было установлено, что концентрации формальдегида из антропогенных источников могут объяснить недавний постоянный рост числа городов, в которых средние концентрации этой примеси увеличиваются с повышением температуры воздуха и под воздействием солнечного излучения.

В атмосфере, как в огромном реакторе, реакции протекают непрерывно, в результате чего образуется формальдегид, что требует метана и наличия катализаторов.

Последовательность химических реакций образования формальдегида в воздухе:

В «чистой» атмосфере:

$$CH_4 + HO^{\cdot} \rightarrow CH_3^{\cdot} + H_2O$$

$$CH_3^{\cdot} + O_2 + M^* \rightarrow CH_3O_2^{\cdot} + M^*$$
$$CH_3O_2^{\cdot} + HO_2 \rightarrow CH_3OOH + O_2$$
$$CH_3OOH + h\nu \rightarrow CH_3O^{\cdot} + HO$$
$$CH_3O + O_2 \rightarrow CH_2 = O + H_2O$$

В «загрязненной» атмосфере:

$$CH_4 + HO^{\cdot} \rightarrow CH_3^{\cdot} + H_2O$$
$$CH_3^{\cdot} + O_2 + M^* \rightarrow CH_3O_2^{\cdot} + M^*$$
$$CH_3O_2^{\cdot} + NO \rightarrow NO_2 + CH_3O^{\cdot}$$
$$CH_3O^{\cdot} + O_2 \rightarrow CH_2 = O + H_2O$$

Формальдегид, молекулярная формула которого CH_2O (H_2-C=0); номер CAS 50-00-0, представляет собой бесцветный газ, легко воспламеняющийся и обладающий высокой реакционной способностью при комнатной температуре. Формальдегид также может быть получен коммерчески в виде 30-50% (по массе) водного раствора, известного как формалин. Формальдегид – это хорошо растворимая полярная молекула с большим коэффициентом прилипания, которая существует как в газообразной, так и в форме частиц. Формальдегид обладает сильными антисептическими свойствами, способен уничтожать большинство микроорганизмов, включая их споры. Токсичен, негативно воздействует дыхательные пути, глаза, кожный покров, на генетический материал, репродуктивные органы, оказывает сильное действие на центральную нервную систему. Предельно допустимая концентрация формальдегида в воздухе рабочей зоны ПДК = 0,5 [5].

В окружающем воздухе формальдегид быстро фото-окисляется в углекислом газе. Он также очень быстро реагирует с гидроксильными радикалами с образованием муравьиной кислоты. Период полураспада, рассчитанный для этих реакций, составляет около одного часа в зависимости от условий окружающей среды [6].

Формальдегид повсеместно встречается в окружающей среде, потому что он образуется главным образом из многочисленных природных источников и антропогенной деятельности. В окружающей среде он выделяется в результате сжигания биомассы (лесных и кустарниковых пожаров) или разложения, например, через вулканы. Антропогенные источники включают прямые источники, такие как промышленные выбросы на месте и сжигание топлива в результате дорожного движения.

Газы двигателей внутреннего сгорания содержат сложную смесь, которая содержит более 150 соединений. В основном это газообразные вещества и небольшое количество твердых частиц, которые взвешены. Твердые частицы – это продукты дегидрирования топлива, металлы, а также вещества, не способные гореть. Основными представителями альдегидов, которые попадают в воздух от автомобильных выбросов, являются формальдегид и акролеин. Уровень загрязнения в воздухе формальдегид у автомагистралей довольно высокий.

Источники поступления формальдегида делятся и подразделяются на первичные и вторичные. Первичные источники выделяют формальдегид, вторичные — выделяют органические соединения, из которых в окружающей среде при определенных условиях может образоваться формальдегид [7]. Источниками могут быть процессы горения, такие как курение, нагревание, приготовление пищи или сжигание свечей или ладана. Однако основными источниками в среде, где запрещено курение, являются строительные материалы и потребительские товары, которые выделяют формальдегид. Это относится к новым материалам и продуктам, но может длиться несколько месяцев, особенно в условиях с высокой относительной влажностью и высокими температурами в помещении. Источники формальдегида в помещениях включают: мебель и изделия из дерева, содержащие смолы на основе формальдегида, такие как ДСП, фанера и ДВП средней плотности; изоляционные материалы; текстильные изделия; самодельные продукты, такие как краски, обои, клеи, клеи, лаки и лаки; бытовые чистящие средства, такие как моющие средства, дезинфицирующие

средства, смягчители, средства для чистки ковров и обувные изделия; косметические средства, такие как жидкое мыло, шампуни, лаки для ногтей и отвердители ногтей; электронное оборудование, включая компьютеры и копировальные аппараты; и другие предметы потребления, такие как инсектициды и бумажные изделия.

Удаление газообразного формальдегида из воздуха на предприятиях, производящих или использующих смолы на основе формальдегида, уже некоторое время вызывает озабоченность [8]. Чтобы свести к минимуму или уменьшить воздействие газообразного формальдегида, использовались различные методы удаления формальдегида из воздуха. Таким образом, воздух был пропущен через скруббинг башни или фильтры, содержащие жидкостные абсорбенты, например воду или водный раствор или бикарбонат аммония, или твердые абсорбенты, например активированный уголь, приводящие к абсорбции газообразного формальдегида в атмосфере. Оксидация формальдегида была повышена путем прохождения воздуха через щелочноземельный металл или глины, которая пропитана перманганатом калия. Твердые абсорбенты как активированный уголь эффективны на нормальных температурах, но теряют их эффективность, когда повышения температуры [9].

Самая низкая концентрация, которая, как сообщается, вызывает сенсорное раздражение глаз у людей, составляет 0,38 мг/м^3 в течение четырех часов. Увеличение частоты моргания глаз и покраснение конъюнктивы появляются при 0,6 мг/м^3, что считается равным NOAEL (No-observed-adverse-effect level) - отсутствие наблюдаемого (негативного) эффекта . Нет никаких признаков накопления эффектов с течением времени при длительном воздействии.

На примере города Казани прослежено содержание формальдегида в воздухе. По данным станции мониторинга на пересечении улиц Побежимова и Ленинградской зафиксировали 0,127 мг/м^3 формальдегида при норме ПДК в 0,05 мг/м^3. На пересечении улиц Файзи и Бигичева было зафиксировано 0,118 мг/м^3 формальдегида. На улице Дубравной показывает содержание вредной примеси на уровне 0,08 мг/м^3. Станция в санатории «Казанский» зафиксировала превышение на уровне 0,09 мг/м^3 при известной норме. Ранее в Гидрометцентре РТ объяснили превышение ПДК по формальдегиду погодными условиями. Отмечались: «слабый ветер, высокая влажность и туман, приземная инверсия, способствовали накоплению загрязняющих веществ в приземном воздухе», и, кроме того, отдельно указывалось, что «незначительные превышения санитарно-гигиенических нормативов по формальдегиду наблюдаются в городах довольно часто», а основным источником таких загрязнений становится автомобильный транспорт [10].

Возможными путями воздействия формальдегида являются вдыхание, проглатывание и всасывание через кожу. Воздействие газообразного формальдегида может привести к трудностям с дыханием, раздражение глаз и кожи, головные боли, рвота и сильное раздражение слизистых оболочек. Существует также вероятность того, что формальдегид является канцерогеном. Отмечено его токсическое, аллергенное и мутагенное действие. Поэтому важно уделить внимание и направить силы для контроля содержания формальдегида в воздухе [10]. Существует достаточно доказательств того, что формальдегид вызывает рак носа у животных и рак носоглотки у людей. Исследования канцерогенности на крысах, мышах и хомяках не показывают последовательной связи между злокачественными новообразованиями формальдегида. Связи между воздействием формальдегида и злокачественных опухолей носоглотки и лейкемией у людей ограничены высокими концентрациями воздействия. Использование краткосрочного (30-минутного) норматива 0,1 мг/м^3 также предотвратит долгосрочные последствия для здоровья, включая рак.

Таким образом, восприятие запаха может привести к тому, что некоторые люди сообщают о субъективном сенсорном раздражении, а люди могут воспринимать формальдегид в концентрациях ниже 0,1 мг/м^3. Однако это не считается вредным для здоровья. Но если увеличить дозу содержания формальдегида в воздухе хотя бы в 2 раза, или же увеличить время вдыхания формальдегида при той же концентрации, то он приобретает класс опасности 3 и его воздействие на живые организмы считается губительным. Результаты мониторинга состояния атмосферного воздуха свидетельствует о повышении

окислительной активности компонентов тропосферы, что является причиной роста концентрации токсичных загрязнителей, в частности формальдегида, и появления фотохимического смога.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Штокман Е.А. Очистка воздуха // учебное пособие для студентов, г. Москва, 2007. С.41.

2. Костюченко В.В. Формальдегид в воздухе: источники и последствия превышения допустимой концентрации // материалы интервью «Что делать, после обнаружения превышения экологических норм…/ Интернет-ссылка: http://sud-expertiza.ru/formaldegid-v-vozduhe-istochniki-i-posledstviya-prevysheniya-dopustimoy-koncentracii/

3. Афанасьев С.В., Рощенко О.С., Юрина Т.Н., Шишкина Т.А. Каталитические способы снижения выбросов формальдегида для предотвращения фотохимического смога // Сборник докладов Шестой научно-практической конференции «Проблемы экологии городского округа Тольятти и пути их решения». 30.11. – 1.12.12 г.г. Тольятти. Сам. научн. центр. РАН. 2012. С.21-27.

4. Афанасьев С.В., Рощенко О.С., Юрина Т.Н., Шишкина Т.А. Снижение выбросов формальдегида как способ борьбы с фотохимическим смогом // Сборник научных трудов III Межд. Молодежной научно-практической конференции «Коршуновские чтения». Тольятти, 26-28 сентября 2012 г. Тольятти. Изд. ТГУ. 2012.С.199-203.

5. ГН 2.2.5.1827-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

6. Дебра А. Каден , Коринн Манден , Гуннар Д. Нильсен и Педер Волькофф Формальдегид // Руководство ВОЗ по качеству воздуха в помещениях: отдельные загрязнители. Женева, 2010

7. Усманова Л.М. Источники поступления формальдегида и его воздействие на живой организм // Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки сб. ст. по мат. XXXI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 5(30)

8. Демиденко Г*.А., Жирнова Д.Ф.* Экологический мониторинг загрязнения окружающией среды формальдегидом и бенз(а)пиреном // Вестник КрасГАУ, 2013. №10. С. 109-110.

Патент США № 2049608 8/1936, 22.02.1983. Способ удаления газов формальдегида из атмосферы // *Норман Г. Гейлорд, Нью-Провиденс, Н. Дж.*

9. К.И. Трифонов, А.И. Кузнецова, С.В. Афанасьев, О.С. Рощенко Мониторинг формальдегида в атмосферном воздухе в городах Российской Федерации // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 16, №1(7), 2014. С. 1862-1865.

10. *Дорогова Б.Б., Тапаненко Н.А., Рычагова О.А.* Формальдегид в окружающей среде и его влияние на организм // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН, 2010. №1 (71). С. 32-35

MONITORING FORMALDEHYDE IN ATMOSPHERIC AIR

Vasilyeva M., Yakunin S.

vasileva_masha1@mail.ru, yakuninserega@bk.ru

Supervisor: E. Gogol, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

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

The article justifies the need to monitor formaldehyde in the air. The authors assess the risks posed by formaldehyde to human health and the state of the environment. Formaldehyde is used in the manufacture of adhesives, chipboard and plywood coatings, in the production of sterilizing and disinfecting agents, medicines, and cosmetics. The authors focus on the toxicity of formaldehyde, its effect on human health, in particular, the possibility of malignant tumors in humans.

УДК 556.5

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ФОНОВОГО УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД Р. ВОЛГА

Габдрахманова Г.Н.
gulnarushka92@mail.ru
Научный руководитель: Ю.А. Тунакова, д-р хим. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Предложены критерии для оценки вклада организованных выпусков сточных вод предприятий в фоновый уровень загрязнения поверхностных вод: индекс кратности превышения фона и коэффициент превышения фоновой концентрации. Критерии апробированыпри ранжировании предприятий г. Зеленодольск по степени нагрузки на поверхностные воды р. Волга с оценкой вклада предприятий.

Для разработки водоохранных мероприятий по предотвращению загрязнения водных экосистем и минимизации воздействия производств на поверхностные воды необходима оценка химической нагрузки организованных источников выпусков сточных вод предприятий.

В качестве исходного источника информации целесообразно использовать данные официальной статистической отчетности № 2-тп (водхоз) предприятий-водопользователей, которые хоть и включают данные по крайне ограниченному перечню показателей сброса приоритетных загрязняющих веществ, но подготавливаются ежегоднои обобщаются в автоматизированных информационных системах Государственного водного кадастра.. Основной, пригодной для анализа величиной по данным № 2-тп (водхоз) является суммарная масса сбрасываемых предприятием-водопользователем со сточными водами загрязняющих веществ в тыс. т в год. Все остальные критерии используют данную величину.

Нами использованы критерии, предложенные в работе [1], которые учитывают фоновое загрязнение водных объектов-приемников сточных вод и позволяют выделить вклад именно организованных источников выпуска:

- привнос индивидуальных загрязняющих веществ со сточными водами (ПИЗВ), представляющий собой разность между массой вещества в сточных водах ($М_{ст}$, т/год) и массой вещества, полученной при водопотреблении, с учетом фоновых характеристик водного объекта ($С_ф$, г/м^3) и расхода сточных вод (q, тыс.м^3/год) по формуле: ПИЗВ, т/год = $М_{ст} – С_ф \times q/1000$. Превышение массы сброса над рассчитанными значениями ПИЗВ может рассматриваться как степеньантропогенной химической нагрузки.

- суммарный привнос загрязняющих веществ со сточными водами (СПЗВ) предприятия в целом, оценивается по формуле: СПЗВ, т/год =∑ПИЗВ. Этот критерий позволяет учитывать многокомпонентный состав сточных вод анализируемых в одной совокупности промышленных предприятий-водопользователей и имеющих различия в составе сточных вод.

В соответствии с разработанным ГУ «Гидрохимический институт» Росгидромета [2] п. 4.1 в качестве количественных значений показателей химического состава и свойств воды используется фоновые концентрации химических веществ. За фоновую концентрацию вещества принимается статистически обоснованная верхняя доверительная граница возможных средних значений концентраций этого вещества, рассчитанная для наиболее неблагоприятных гидрологических условий или наиболее неблагоприятных в отношении качества воды периода (сезона) в годовом цикле. Для расчета фоновой концентрации используют результаты систематических наблюдений, при получении которых не изменялись: методики количественного химического анализа, водный режим водотока (зарегулирование, забор воды и т.п.), характер поступления рассматриваемых химических веществ на вышерасположенном участке водотока. При установлении нормативов

допустимых сбросов (НДС) вредных веществ в водные объекты и нормативов допустимого воздействия (НДВ) по привносу ЗВ (РД 52.24.622-2001 и РД 52.24.689-2009) в водные объекты необходимо использование фоновых концентраций.

Нами предлагается учет фоновой концентрации и при расчете комплексных расчетных показателей (ИКПФ и КПФ), которые позволяют учесть вклад от привноса загрязняющих веществ в фоновую концентрацию в поверхностных водах,и, являясь интегральными показателями, позволяют учесть всю совокупность загрязняющих веществ в составе вод водоисточника.

Индекс кратности превышения фона (ИКПФ) предлагаемый в дополнении к существующим: индексу загрязненности вод, показателю химического загрязнения воды, комбинаторному индексу загрязненности:

$$\text{ИКПФ} = \frac{1}{n}\sum_i \frac{C_{усл,i}}{C\phi_i}$$

где n – общее количество загрязняющих веществ и показателей загрязнения, определенных в сточных водах;$C_{фi}$ – фоновая концентрация i-го загрязняющего вещества;$C_{усл.i}$ - средние условные концентрации загрязняющих веществ в сточных водах (г/м^3), определяемые путем деления массы сбрасываемого со сточными водами загрязняющего вещества на расход сточных вод по формуле:

$$C_{усл} = M_{ст} \cdot 1000/q$$

Второй – коэффициент превышения фоновой концентрации (КПФ), предлагается рассчитывать по формуле:

$$\text{КПФ} = \frac{1}{n}\sum_i \frac{\Delta_i}{C\phi_i}$$

где$\Delta_i = |C_{усл,i} - C\phi_i|$, если фоновая концентрация превышена и $\Delta_i = 0$, если фоновая концентрация не превышена.

Фоновые концентрации при оценке уровня загрязнения водных объектов более целесообразно использовать, чем ПДК. Для расчетов использовались фоновые концентрации катионов и анионов в водах Куйбышевского водохранилища[4].

В работе [1] показано, что наиболее сильное влияние на качество поверхностных вод Куйбышевского водохранилища оказывают выпуски сточных вод в районе г.Зеленодольска. Качество поверхностных вод ниже по течению г.Зеленодольск соответствует 4 «а» классу качества «грязные». Предприятия города вносят вклад как в увеличение концентрации ионов аммония и нитритов в контрольном створе (52,2 и 35,4%, соответственно), так и в увеличение концентрации металлов (железо – 9%, медь – 25%, никель – 44%, цинк – 55%, марганец – 28,6%), а также концентрации органических веществ (фенолов – 35%, АПАВ – 71,6%) в Куйбышевском водохранилище.

Основными предприятиями, сбрасывающими загрязненные сточные воды в Волгу являются "Зеленодольск-Водоканал", ОАО "Зеленодольский фанерный завод", ОАО "Зеленодольский завод им.А.М.Горького".

Для "Зеленодольск-Водоканал" характерными сбрасываемыми загрязняющими веществами являются кальций Ca^{2+}, цинк Zn^{2+} , нитрит-анионы NO_2^-, хлориды Cl^-, все растворимые формы магния, сульфат-анионы SO_4^{2-}, железо Fe^{2+}, Fe^{3+}, нитрат-анионы NO_3^-, сухой остаток.

Для ОАО "Зеленодольский фанерный завод" характерными сбрасываемыми загрязняющими веществами являются нитрат-анионы NO_3^-, формальдегид.

Для ОАО "Зеленодольский завод им.А.М.Горького" характерными сбрасываемыми загрязняющими веществами являются нитрит-анионы NO_2^-, хлориды Cl^-, сульфат-анионы SO_4^{2-}, железо Fe^{2+}, Fe^{3+}, нитрат-анионы NO_3^-, БПК полный.

Для ОАО "ПО "Завод им.Серго" характерными сбрасываемыми загрязняющими веществами являются Zn^{2+}, нитрит-анионы NO_2^-, хлориды Cl^-, медь Cu^{2+}, SO_4^{2-}, нитрат-анионы NO_3^-, сухой остаток.

Для сравнения различных предприятий по совокупной нагрузке загрязняющими веществами, содержащимися в сточных водах, с учетом их относительной опасности целесообразно использовать величину ущерба (У) в денежном выражении от привноса загрязняющих веществ в водные объекты (табл.1).Суммарный ущерб (∑У, руб./год) в денежном выражении от привноса загрязняющих веществ в водные объекты, рассчитывается по формуле[4]:

$$\sum Y = \sum_i \text{ПИЗВ} \times \text{У}_{\text{уд.}i} \times \text{К}_{\text{ин.}i}$$

где $У_{уд,i}$– удельный ущерб по каждому ингредиенту, или ставка платы за сброс загрязняющих веществ в водные объекты в пределах предельно допустимого сброса (ПДС);

$К_{ин,i}$– коэффициент индексации. Этот показатель, включающий в неявном виде ставки платы за сброс загрязняющих веществ в водные объекты, учитывает совокупное действие веществ с учетом класса их опасности.

Ранее также использовался коэффициент экологической значимости, однако Постановлением Правительства №1219 от 19.11.14г. использование данного коэффициента было прекращено с 22.09.16г[5].

Таблица 1

Показатели ИКПФ и КПФ сточных вод предприятий г. Зеленодольск

Наименование предприятия	ИКПФ	КПФ	Суммарный ущерб, %
Предприятия "Зеленодольск-Водоканал" - филиал ОАО"Водоканалсервис"	0,866	1,657	98,9
ОАО "Зеленодольский фанерный завод"	0,033	0,966	0,11
АО "Зеленодольский завод им.А.М.Горького"	0,601	1,305	0,51
АО "ПО "Завод им.Серго"	0,310	0,698	0,48

Расчет ущерба от поступления сточных вод рассматриваемых предприятий г. Зеленодольск, показал, что наибольший вклад вносит предприятие «Зеленодольск-Водоканал», ущерб составляет 98,9% от общего ущерба.

Оценивая ущерб от привноса загрязняющих веществ, эти предприятия можно разделить на три группы в порядке убывания ущерба:

- первая группа (высокой нагрузки) включает Предприятия "Зеленодольск-Водоканал" - филиал ОАО"Водоканалсервис", которые оказывают наиболее сильное воздействие на поверхностные воды. По критерию ущерба ОАО «Зеленодольск-Водоканал» выходит на второе место по воздействию на поверхностные воды Куйбышевского водохранилища после МУП «Водоканал» г. Казани, что также обусловлено наличием в сточных водах этого предприятия так называемых тяжелых металлов.
- вторая группа (средней нагрузки) включает АО "Зеленодольский завод им.А.М.Горького" и АО "ПО "Завод им.Серго";
- третья группа (низкой нагрузки) включает ОАО "Зеленодольский фанерный завод", который вносит наименьший вклад в загрязнения поверхностных вод.

Таким образом, для оценки вклада промышленных предприятий в уровень фонового загрязнения поверхностных вод в условиях небольшого объема исходных данных нами обосновано и апробировано использование набора количественных критериев, что является крайне актуальным для интегральной оценки качества поверхностных вод, как обоснован от в работе [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Шагидуллин Р.Р.* Эколого-аналитический контроль равнинного водохранилища// Издательство Казанского университета, Казань, 2011. 336 с.

2. РД 52.24.622-2001 Методические указания Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков, 2002.

3. *Иванов Д. В.* Растворенные формы металлов в водах Волжских водохранилищ в период летней межени / Д. В. Иванов // Материалы международной научной конференции. – Казань, 2016. – С. 143-147.

4. Комплексные оценки качества поверхностных вод: Л.: Гидрометеоиздат, 1984. — 150 с.

5.Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 N 913 (ред. от 29.06.2018) "О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах".

6. *Белогуров, В. П.* Разработка методологии интегрального оценивания экологического состояния территорий / В. П. Белогуров // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2014. — № 5/10(71). — С. 51–56. doi:10.15587/1729-4061.2014.28173

ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC LOAD ON THE FORMATION OF BACKGROUND LEVEL OF SURFACE WATER POLLUTION OF THE VOLGA RIVER

Gabdrakhmanova G.
gulnarushka92@mail.ru
Supervisor: Yu. Tunakova, Doctor of Chemical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Proposed criteria for assessing the contribution of organized releases of wastewater to the background level of surface water contamination: the index of the excess over background ratio exceeding background concentrations.Criteria tested for ranking enterprises Zelenodolsk on the degree of load on the surface water of the Volga river with the assessment of the contribution of enterprises.

УДК 502/504:628.3:631.8

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССА БИОДЕСТРУКЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Гаврилов М. М.
gavriloff.mikail@yandex.ru
Научные руководители: А. А. Пименов, д-р технических наук, доцент,
С. А. Ерзиков, канд. техн. наук, доцент
(Самарский государственный технический университет, г. Самара)

В данной работе рассматривается система удаленного мониторинга в режиме реального времени температуры процесса биодеструкции многотоннажного отхода, под названием осадок сточных вод. Для активации процесса биодеструкции применялась специально разработанная смесь таких компонентов, как навоз крупного рогатого скота, кальций содержащий элемент и органические отходы сельского хозяйства.

Утилизация отходов жизнедеятельности человеческого общества является одной из задач инженерной защиты окружающей среды, от реализации которой во многом зависит экологическая обстановка на планете в целом, а значит благополучие и процветание всего общества. Значительное место среди разнообразных отходов занимают биошламы и избыточно активный ил, которые являются продуктами очистки и переработки сточных вод. Данные отходы объединены одним понятием - осадок сточных вод (ОСВ) [1,2].

Химический состав осадка различен и зависит от того из каких стоков он получен промышленных или бытовых, способа их обработки, сезона накопления. Получаемый ОСВ может содержать большое количество органического вещества, азота, фосфора, калия, что делает его достаточно ценным отходом, но при этом в нем могут находится такие токсичные поллютанты, как углеводороды и растворимые формы солей тяжелых металлов (ТМ). Так же осадок может содержать болезнетворные микроорганизмы, которые могут угрожать

здоровью человека и животных [3,4].

Количество методов утилизации ОСВ на начало XXI века очень велико, но ужесточение государственного законодательства в области охраны окружающей среды и рационального природопользования требуют разработки новой, экологически безопасной и эффективной технологии переработки осадков сточных вод, в которой будет реализовываться их сырьевой потенциал [5].

Ежегодно на территории России образуются огромные объемы осадков, которые по уже сложившейся практике размещаются на полигонах или складируются в амбарах [6].

Деструктивные методы переработки, по отношению к данным отходом, применяют достаточно редко, так как они приводят к большим финансовым затратам и безвозвратной потере ценных микро и макро элементов, а так же повышают антропогенную нагрузку на окружающую среду [3].

Для защиты окружающей среды наиболее востребованы и необходимы конструктивные методы утилизации ОСВ. К ним относится биодеструкционная переработка, подразумевающая не полное уничтожение отхода, а его утилизацию в продукцию, которую в дальнейшем можно было бы реализовать с получением выгоды. Так в Германии доля ОСВ, применяемых в сельскохозяйственном производстве доходит до 40 %. В Финляндии из общего количества осадков, которое используется в виде удобрений, одна треть вносится на поля, 17 % — применяются для городского озеленения, одна треть — при обустройстве магистральных дорог и около 20 % компостируется [7,8].

В Российской Федерации в год образуется около 3 млн. т осадков сточных вод в пересчете на сухое вещество. В качестве удобрений в сельскохозяйственном производстве используется около 7 % осадков. Основной метод утилизации — захоронение осадков на иловых картах [9].

Научным коллективом, в состав которого входили авторы статьи, была разработана новая технология утилизации ОСВ биодеструкционным методом с получением почвогрунта с возможностью его дальнейшего применения в сельском хозяйстве. Данная технология подтверждена патентом [10] и имеет положительное заключение государственной экологической экспертизы.

Технология основана на применении специально разработанной смеси для активации процесса биодеструкции углеводородов и перевода растворимых солей ТМ в нерастворимые формы. Аборигенные микроорганизмы, присутствующие в навозе крупного рогатого скота (КРС), подвергают биодеструкционному разложению такие сложные загрязнители как углеводороды. Проблема с ТМ решается путем добавления кальций содержащего компонента, позволяющего перевести растворимые металлосодержащие соли в нерастворимые.

Вопрос с патогенными болезнетворными микроорганизмами решается за счет особенностей технологического процесса, позволяющего провести практически полную стерилизацию получаемого почвогрунта от вредоносных организмов за счет прогрева реакционной смеси до + 70 °С и ее пребывание в таком состоянии длительный период времени.

Для регистрации температуры процесса биодеструкции и подтверждения выполнения условий, при которых большая часть болезнетворных микроорганизмов утрачивают свою опасность, применялся, специально разработанный для этих целей, комплекс удаленного мониторинга температуры в режиме реального времени, который представлен на Рис. 1.



Рис. 1. Комплекс мониторинга температуры процесса биодеструкции

Для осуществления биодеструкции осадков сточных вод формируется бурт из отхода и реагентов, направленных на снижение его токсичности для окружающей среды. В сформированный бурт помещаются температурные датчики, которые по средствам проводов подключаются к модулю управления, Рис. 1.

В зависимости от температуры бурта проводится его аэрирование и при необходимости корректировка состава. Так если датчики комплекса на протяжении нескольких дней после закладки бурта не фиксируют рост температуры, выполняется перекладка бурта экскаватором, при этом в смесь добавляется дополнительное количество носителя аборигенной микрофлоры – навоза КРС, или небольшое количество минеральных удобрений.

Перебуртование осуществляется и в том случае, если в середине обезвреживания датчики фиксируют тенденцию к затуханию процессов, - снижение температуры компостной массы с +40…42 ºС, до температуры окружающей среды.

Комплекс удалённого мониторинга температуры и влажности почвы позволяет решить важные технические задачи по определению и наблюдению за изменением основных параметров процесса переработки биошлама с наименьшими затратами временных и трудовых ресурсов. Он осуществляет непосредственное наблюдение и фиксацию изменений температуры в толще объекта в 20 точках.

Работа температурных датчиков (термо-резисторов), которые используются в данном комплексе, базируется на изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников в зависимости от температуры окружающей их среды. Интервал рабочих температур начинается от - 50 °С и заканчивается + 180 °С, при этом их погрешность не превышает ± 1 °С, что является допустимым для реализации температурного мониторинга процесса биодеструкции.

Благодаря модулю беспроводной связи, работа осуществляется автономно и удалённо, в режиме реального времени. Главной особенностью комплекса является возможность не только наблюдения изменений параметров в реальном времени, но и архивация данных с последующей выгрузкой их, как на физические носители, так и по беспроводному каналу, позволяющему извлечь информацию удалённо.

Основным элементом комплекса является панельный программируемый логический контроллер ОВЕН СПК207 широкого спектра действия. В данной работе он применяется в качестве устройства отображения и мониторинга температуры при протекании процесса биодеструкции осадка сточных вод. Так же этот контроллер может управлять ходом технологических процессов, быть использован в системах автоматического управления

технологическим оборудованием в различных областях промышленности, жилищно-коммунального и сельского хозяйства. По эксплуатационной законченности контроллер относится к изделиям второго и третьего порядка.

Время установления рабочего режима оборудования после включения напряжения питания составляет не более 20 – 40 секунд.

Сама же панель с контроллером изготовлена на основе микропроцессора ARM Cortex™-A8 Core с тактовой частотой до 800 МГц и имеет динамическое оперативно запоминающее устройство типа – SDRAM, объемом 128 Мб, энергонезависимую память – NAND Flash объемом 128 Мб, энергонезависимое статическое оперативно запоминающее устройство – MRAM, объемом 128 Кб.

Панель имеет жидкокристаллический дисплей способный отображать 65536 цветов, с разрешением 800x480 dpi и, укомплектована резистивным сенсором.

На панели размещены: порт Ethernet 10/100 Мбит/с, один порт USB Host, порт USB Device, имеется разъем для работы с SD картами памяти, полномодемным портом COM1, работающим с интерфейсом RS-232.

Панель имеет гальваническую развязку представленную двумя последовательными портами – COM2 и COM3. По интерфейсам RS-232, RS-485, CAN, в зависимости от самих настроек панели возможна связь с другими приборами с помощью данных портов. Порт COM2 может быть настроен для работы с интерфейсами типа RS-232/RS-485 и CAN. Порт COM3 может быть настроен только для работы с интерфейсами типа RS-232/RS-485. Данная гальваническая развязка, на основе портов COM2 и COM3 задается исходя из поставленной задачи и в данном проекте выступает в качестве резерва.

Панель имеет энергонезависимые часы реального времени, пьезоизлучатель («пищалка»), линейный аудиовыход.

Панель оснащена отладочным (Debug) интерфейсом для отладки и управления встроенного ПО.

Панель, входящего в состав комплекса мониторинга температуры процесса биодеструкции предназначена для выполнения следующих операций:

1. отображение состояния температуры объекта в режиме реального времени, с использованием графических пиктограмм (индикаторы, графики, линейки, условные обозначения оборудования и т.д.);
2. отображение сенсорных элементов, при помощи которых возможно осуществлять непосредственное управление комплексом;
3. управление работой других приборов посредством интерфейсов связи (если таковые подключены);
4. запись и чтение значений других приборов, к которым подключается панель (если таковые имеются).

Стандартные условия эксплуатации: взрывобезопасные, закрытые помещения без агрессивных сред, при атмосферном давлении от 84 до 106,7 кПа, с температурой в диапазоне от – 20… +50 °С и относительной влажностью не более 90 % при +35 °С, и более низких температурах, без конденсации влаги.

Нормальные условия эксплуатации: взрывобезопасные, закрытые помещения без агрессивных сред, при атмосферном давлении от 84 до 106,7 кПа, с температурой воздуха (20 ± 5) °С и относительной влажностью воздуха не более 80 % при +35 °С и более низких температурах без конденсации влаги.

По устойчивости к механическим воздействиям представленный комплекс мониторинга процесса биодеструкции соответствует группе N2 в соответствии с ГОСТ Р 52931-2008.

Комплекс способен выдержать воздействие одиночных механических ударов с пиковым ускорением 50 м/с^2 и длительностью ударного импульса в пределах от 0,5 до 30 мс.

По устойчивости к электромагнитным воздействиям панель соответствует требованиям п. 5.9 ГОСТ 51841-2001.

По уровню излучаемых радиопомех панель соответствует классу Б по ГОСТ Р 51318.22-2006.

Корпус контроллера СПК207 соответствует ГОСТ Р 51841-2001, разделу 6, по устойчивости к воспламенению и распространению пламени панель относится к типу – FV1

Автоматизация процесса температурного контроля технологического процесса позволила интенсифицировать процесс переработки биошлама и сэкономить материальные и энергетические ресурсы. Это значительно упростит дальнейшую реализацию разработанной новой технологии изготовления почвогрунта из биошламов и избыточных илов биологических очистных сооружений. Комплекс удалённого мониторинга температуры и влажности почвы поможет лучше изучить термодинамические параметры процессов биодеструкции, протекающих в буртах, что, в дальнейшем, позволит ускорить определение необходимых реагентов и их оптимальное соотношение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Воронов Ю. В., Яковлев С. В.* Водоотведение и очистка сточных вод. ─ М.:Изд-во «АСВ», 2004. ─ 702 с

2. *Гаврилов М.М.* Наиболее эффективные "зеленые технологии", применяемые для переработки осадков сточных вод городских и промышленных очистных сооружений. В сборнике: Инновации и "зеленые" технологии Региональная научно-практическая конференция: сборник материалов и докладов. Составители Т.С. Кобзарь, С.В. Сердюкова. Самара 2018. С. 162-165.

3. *Армоэс П., Арван Э, Хенце М., Ля-Кур-Янсен Й.* Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы. Перевод с англ. Т. П. Мосолова. ─ М.:Мир, 2006. ─ 479 с.

4. *Гаврилов М.М., Пименов А.А., Красников П.Е.*Снижение содержания тяжелых металлов в осадках сточных вод при биодеструкции с добавлением гипса. //Природообустройство. 2018. № 2. С. 108-114.

5. *Гаврилов М.М., Пименов А.А., Красников П.Е.* Выбор оптимального и актуального для сельского хозяйства метода переработки осадков сточных вод. // Природообустройство. 2017. № 5. С. 63-69.

6. *Мерзлая Г.Е.* Экологическая оценка осадка сточных вод. // Химия в сельском хозяйстве ─1995. ─№ 4. ─ С. 38-42.

7. *Давыдова С.Л., Тагасов В.И.* Тяжёлые металлы как супертоксиканты XXI века – М.: РУДН, 2002. 140 с.

8. *Пахненко Е.П.* Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения. Учебное пособие. ─М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. — 311 с.

9. *Ильин В. Б.* Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение. Монография. / отв. Редактор А. И. Сысо; Рос. акад. Наук, Сиб. Отд-ние, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 220 с.

10. Пат. 2649894 Российская Федерация, МПК B 09 C 1/10. Способ обезвреживания активного ила / Гаврилов М.М., Пименов А.А., Бурлака Н.В., Бурлака И.В.; заявитель и патентообладатель Обество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное предприятие «Экотон». № 2017121964; заявл. 21.06.17; опубл. 05.04.18, Бюл. № 10.

TEMPERATURE MONITORING OF THE PROCESS OF BIO-DESTRUCTION OF DRAINAGE OF WASTEWATER IN THE MODE OF REAL TIME

Gavrilov M.
gavriloff.mikail@yandex.ru
Scientific advisers: A. Pimenov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
S. Erzikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Samara State Technical University, Samara)

In this paper, a system of remote monitoring in real time of the temperature of the process of biodegradation of a large-tonnage waste, called sewage sludge, is considered. To activate the process of biodegradation, a specially developed mixture of such components as cattle manure, calcium containing element and organic agricultural waste was used.

УДК 543

ГАЗОВЫЙ ХРОМАТОГРАФ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

Гидиятуллина И.И.
Lady.Ilsina@yandex.ru
Научный руководитель: А.В. Желовицкая, канд. хим. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данном докладе представлены теоретические основы метода газовой хроматографии, аналитический обзор приборов газовой хроматографии на основе литературных источников.

Хроматография - метод разделения, анализа и физико-химических исследований веществ, основанный на перемещении зоны вещества вдоль слоя сорбента в потоке подвижной фазы с многократным повторением сорбционных и десорбционных актов. При этом разделяемые вещества распределяются между двумя несмешивающимися фазами (в зависимости от их относительной растворимости в каждой фазе): подвижной и неподвижной.

Газовая хроматография - хроматография, в которой подвижная фаза находится в состоянии газа или пара - инертный газ (газ-носитель). Неподвижной является жидкость, закрепленная на пористый носитель или на стенки длинной капиллярной трубки.

Конструктивно хроматографы состоят из источника газа-носителя, измерителя и регулятора его расхода, дозатора, нагревателя - испарителя, хроматографической колонки детектора, термостата, и регистрирующего устройства.

Хроматограф работает следующим образом (рис.1). Проба анализируемой газовой смеси с помощью дозатора периодически вводится в нагреватель-испаритель, где смешивается с инертным газом-носителем. Газ-носитель, поступающий из источника должен быть инертными по отношению ко всем анализируемым веществам и конструкционным материалам, с которыми возможен его контакт при работе хроматографа. Регулятор и измеритель обеспечивают постоянный расход газа-носителя. Анализируемая проба направляется в хроматографическую колонку, где происходит процесс разделения смеси на отдельные компоненты. После разделения анализируемой смеси отдельные компоненты в определенной последовательности поступают на детектор - устройство, преобразующее изменение состава подвижной фазы в электрический сигнал. Результаты детектирования поступают на регистрирующий прибор. В качестве регистрирующих приборов применяются компьютеры, управляющей процессом анализа и записывающей его результаты на различные виды носителей. Программное обеспечение этого процесса позволяет идентифицировать вещества анализируемой пробы по времени их выхода и определять содержание компонентов в пробе по площадям их пиков. Проанализированная смесь

сбрасывается в специальную линию сброса продуктов. Так как температура достаточно сложным образом влияет на процессы сорбции-десорбции и детектирования, то нагреватель-испаритель, колонка и детектор термостатируются с помощью термостата [1].

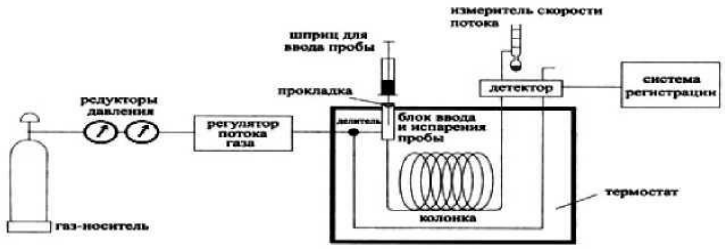


Рис. 1. Схема устройства газового хроматографа

Детектор является важнейшей частью любого хроматографа. От конструкции детектора зависят основные показатели прибора в целом – его чувствительность и точность, конструкция хроматографической колонки, объем пробы. Типом детектора определяются основные условия выполнения анализа - расход газа-носителя, скорость и давление в газовом тракте, температура исследуемой смеси. Все газохроматографические детекторы разделены на три категории: универсальные (У); селективные (Се); специфические (Сп).

Универсальные детекторы практически одинаково реагируют на любые химические соединения. Принцип их действия основан на измерении определенных физических свойств выходящих из колонки веществ.

Селективные детекторы измеряют какое-либо аналитическое свойство определяемого компонента смеси. Детекторы могут быть селективными по отношению к химическим элементам, молекулам определенного строения, функциональным группам или определенным физико-химическим свойствам компонентов.

Специфические детекторы обладают очень высокой селективностью. Весьма высокой специфичностью отличаются атомно - эмиссионный и атомно-абсорбционный детекторы [2].

Графическим результатом хроматографического процесса является хроматограмма. Хроматограмма - кривая, описывающая зависимость концентрации анализируемых веществ в элюате от времени.

При газохроматографическом исследовании непосредственно измеряемой величиной является время удерживания данного компонента t, т.е. время, протекающее от момента ввода пробы в колонку до момента ее выхода из колонки, фиксируемого детектором [1].

Результаты измерений

Отбирали и анализировали пробу на предприятии переработки полимерных отходов, определили какие компоненты содержаться в данной пробе.

Воздух прокачивают в сорбционные трубки при помощи насосов, затем плотно закрывают крышки. После этого сорбционные трубки вставляют в газовую хроматографию и начинают анализ. Протокол качественного анализа представлен на (рис. 2-7) и в таб. (1-2) [3].

Паспорт анализа

Хроматограмма

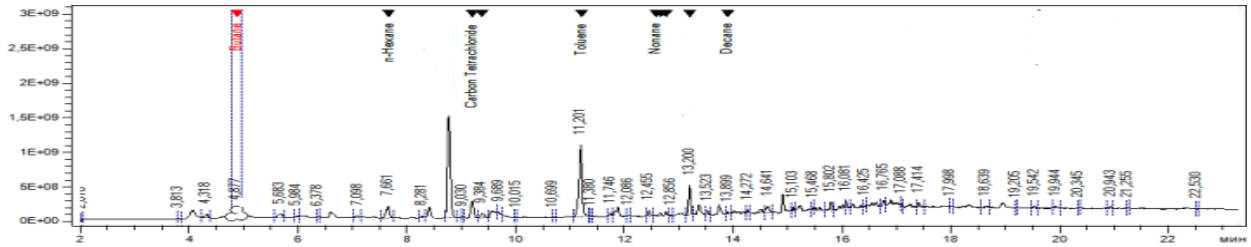


Рис. 2. Хроматограммы анализа

Таблица 1

Таблица данных анализа

Время	Скан	Высота	Площадь	Площадь (% макс.)	Площадь (%) суммы)
4,88	802	93 291 205	505 962 962	8,6	3,3
7,66	1 580	167 199 741	743 783 583	12,6	4,8
9,20	2 009	246 248 700	975 758 370	16,5	6,3
11,21	2 570	1 041 629 215	4 166 543 043	70,6	27,1
12,58	2 952	18 652 105	35 479 656	0,6	0,2

Таблица 2

Таблица кандидатов

Время	Название	P, %	Match	R.Match	CAS #	NIST #
4,88	Butane	79,75	927,00	927,00	106-97-8	18940
7,66	n-Hexane	71,85	929,00	935,00	110-54-3	19379
9,20	Carbon Tetrachloride	94,23	928,00	949,00	56-23-5	291258
11,21	Toluene	21,75	684,00	911,00	108-88-3	227551
12,58	Nonane	30,54	685,00	768,00	111-84-2	228006

Спектры

Время: 4,880 мин

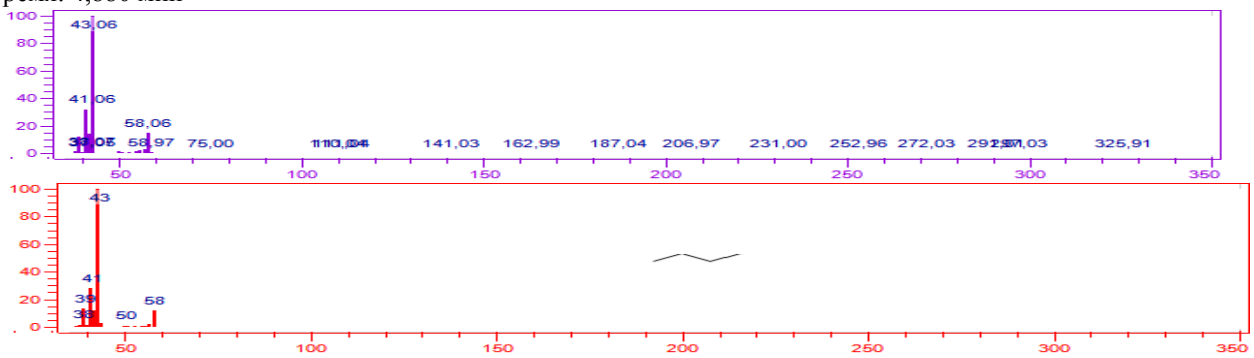


Рис. 3. Спектр Butane (бутан)

Время: 7,660 мин

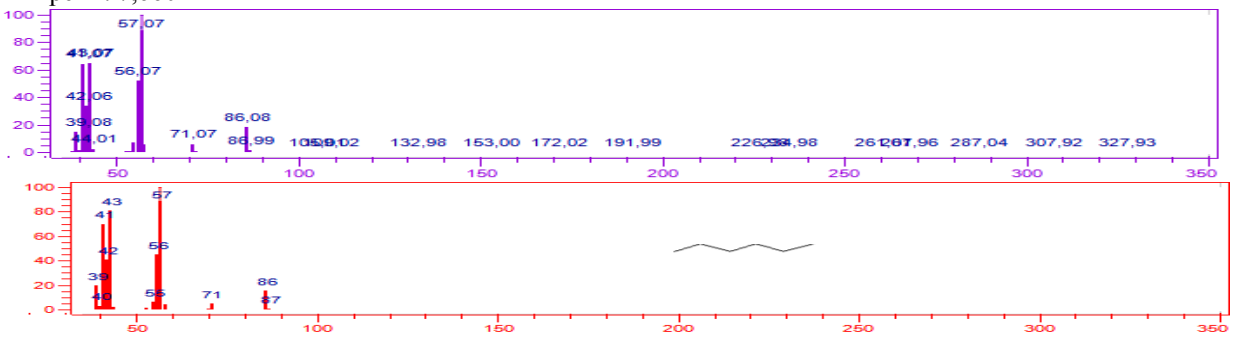


Рис. 4. Спектр n-Hexane (н-гексан)

Время: 9,200 мин

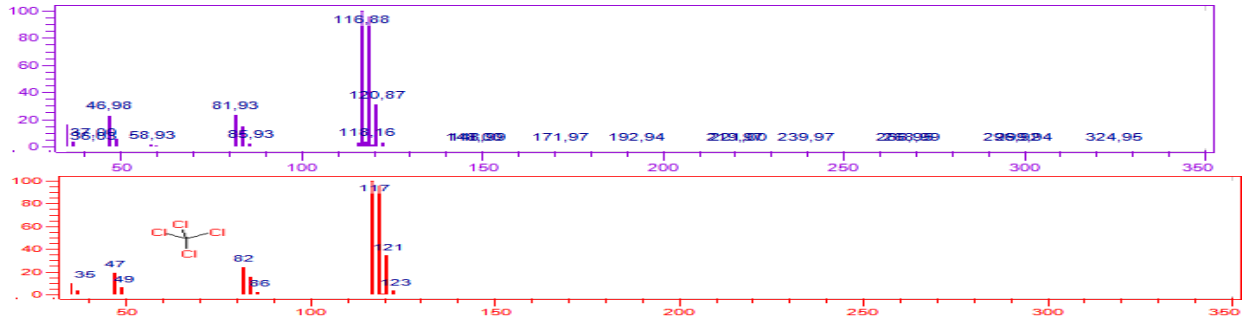


Рис.к 5. Спектр Carbon Tetrachloride (четырёххлористый углерод)

Время: 11,210 мин

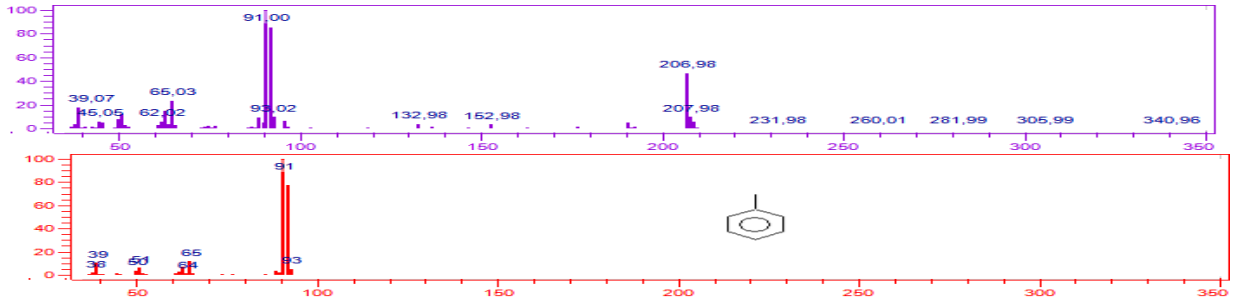


Рис. 6. Спектр Toluene (толуол)

Время: 12,580 мин

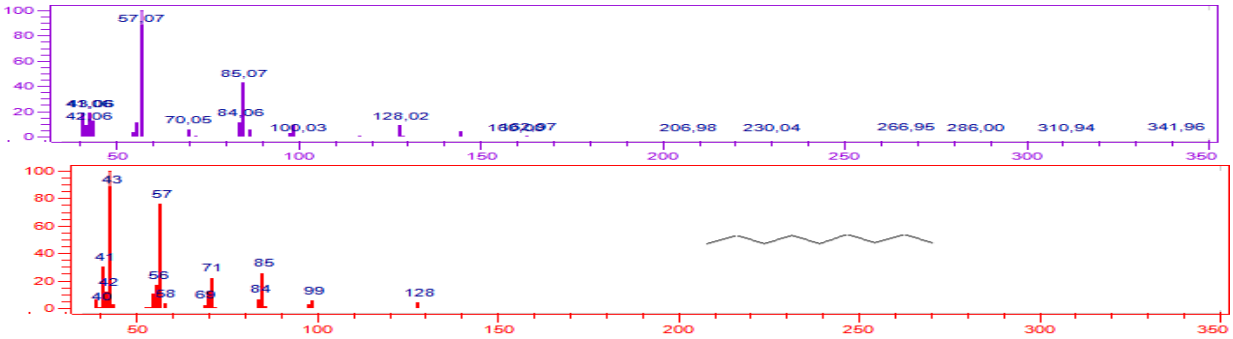


Рис. 7. Спектр Nonane (нонан)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Отто М.* Современные методы аналитической химии. - М.: Техносфера, 2008.-553 с.

2. *Царев Н.И, Царев В.И, Катраков И.В.* Практическая газовая хроматография. - Алтайский государственный университет, 2000.-156 с.

3. *Вартанов А.З, Рубан А.Д, Шкуратник В.Л.* Методы и приборы контроля окружающей среды. -М. : Горная книга, 2009. - 647 с

GAS CHROMATOGRAPH FOR MONITORING THE CONTENT OF AROMATIC ORGANIC COMPOUNDS IN THE AIR

Gidiyatullina I.

Supervisor: A. Zhelovitskaya, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

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

This report presents the theoretical foundations of the gas chromatography method, an analytical review of gas chromatography devices based on literature.

УДК 330.34

ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ ЭКСТРУЗИЕЙ

Гидиятуллина И.И.
Lady.Ilsina@yandex.ru
Научный руководитель: А.В. Желовицкая, канд. хим. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Приводится обзор и обоснование метода переработки полимерных отходов экструзией. Описывается технологическая схема переработки полимерных материалов.

За последние несколько лет население существенно увеличилось и, как следствие, возросло количество бытовых отходов. Ежегодно на мусорных полигонах собираются миллионы тонн продукции данного типа. В естественных условиях полимеры не разлагаются.

Проблему накопления полимерных отходов начали решать с их складирования. Позднее, когда люди осознали не эффективность складирования полимерных отходов, решили их уничтожать, например, сжиганием. В настоящее время стало очевидно, что данный способ наносит не меньший вред окружающей среде, чем складирование отходов, так как при сжигании атмосферный воздух загрязняется высокотоксичными выбросами. Более современным и эффективным способом решения проблемы полимерных отходов является их переработка.

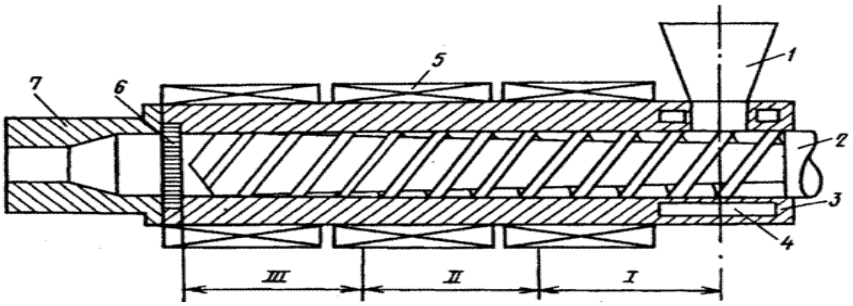
В 1960 году доля полимеров в бытовых отходах столицы составляла 0,7%. Это, очевидно, связано со все большим применением полимерной упаковки, которая в 1960-х годах была большой редкостью.

Основными методами утилизации и регенерации являются следующие способы полезного использования полимерных отходов: сжигание с целью получения энергии; термическое разложение (пиролиз, деструкция, разложение до исходных мономеров и др.); повторное использование – вторичная переработка. Сжигание отходов не является рентабельным способом утилизации, поскольку предполагает безвозвратную потерю ценного химического сырья, приводит к образованию высокотоксичных выбросов. Наиболее предпочтительными способами утилизации вторичного полимерного сырья с экономической и экологической точки является повторное использование и вторичная переработка [1].

Первыми и наиболее важными шагами при переработки полимеров являются сбор, сортировка мусора и идентификация типа полимерного материала, поскольку многие процессы повторной переработки неприменимы к некоторым типам полимеров [2].

В настоящее время в России наиболее доступным и распространенным методом решения проблемы полимерных отходов является экструзионная переработка. Около половины производимых термопластов перерабатываются в изделия этим способом. Данный способ наиболее универсален, надежен и эффективен по сравнению с др. термическими методами, так как не приводит к образованию токсичных выбросов ввиду невысоких температурных режимов процесса.

Основным рабочим органом экструдера является обогреваемый материальный цилиндр, внутри которого вращается червяк. Загрузка перерабатываемого материала производится с помощью загрузочных устройств, конструктивное оформление которых определяется формой частиц перерабатываемого материала и его фазовым состоянием. На выходе материального цилиндра устанавливается формующий инструмент. По мере перемещения в направлении выхода материал уплотняется, плавится и происходит гомогенизация расплава. В формующем инструменте развивается давление, обеспечивающее формование изделия. В экструзионном оборудовании в соответствии с протекающими процессами выделяются зоны питания, плавления и дозирования (рис.1).



1 – бункер; 2 – шнек; 3 – цилиндр; 4 – полость для циркуляции воды;
5 – нагреватель; 6 – решетка с сетками; 7 – формующая головка
Рис. 1. Схема одношнекового экструдера

Рассмотрим поведение материала последовательно на каждом этапе экструзии.

Загрузка сырья. Подаваемое в бункер исходное сырье для экструзии может быть в виде порошка, гранул, лент. Качество экструдата зависит от равномерного дозирования материала из бункера. В большой степени сыпучесть материала зависит от влажности: чем больше влажность, тем меньше сыпучесть. Поэтому материалы сначала подсушивают.

Зона питания (I). Гранулы, поступающие из бункера, заполняют межвитковое пространство шнека зоны I и уплотняются. За счет уменьшения глубины нарезки h шнека в зоне I происходит уплотнение и сжатие гранул. Продвижение гранул осуществляется вследствие разности значений силы трения полимера о внутреннюю поверхность корпуса цилиндра и о поверхность шнека.

Полимер нагревается в зоне I за счет диссипативного тепла, которая выделяется при трении материала и за счет дополнительного тепла от нагревателей, расположенных по периметру цилиндра.

Зона пластикации и плавления (II). Подплавление полимера происходит в начале зоны II, примыкающего к поверхности цилиндра. Расплав постепенно накапливается и воздействует на убывающую по ширине пробку.

Глубина нарезки шнека уменьшается по мере продвижения материала от зоны I к зоне III и возникает давление, которое заставляет пробку плотно прижиматься к горячей стенке цилиндра, из-за чего происходит плавление полимера.

Конец зоны II характеризуется распадом пробки на отдельные фрагменты. После распада пробки на отдельные фрагменты, с остатками твердых частиц расплав полимера попадает в зону дозирования.

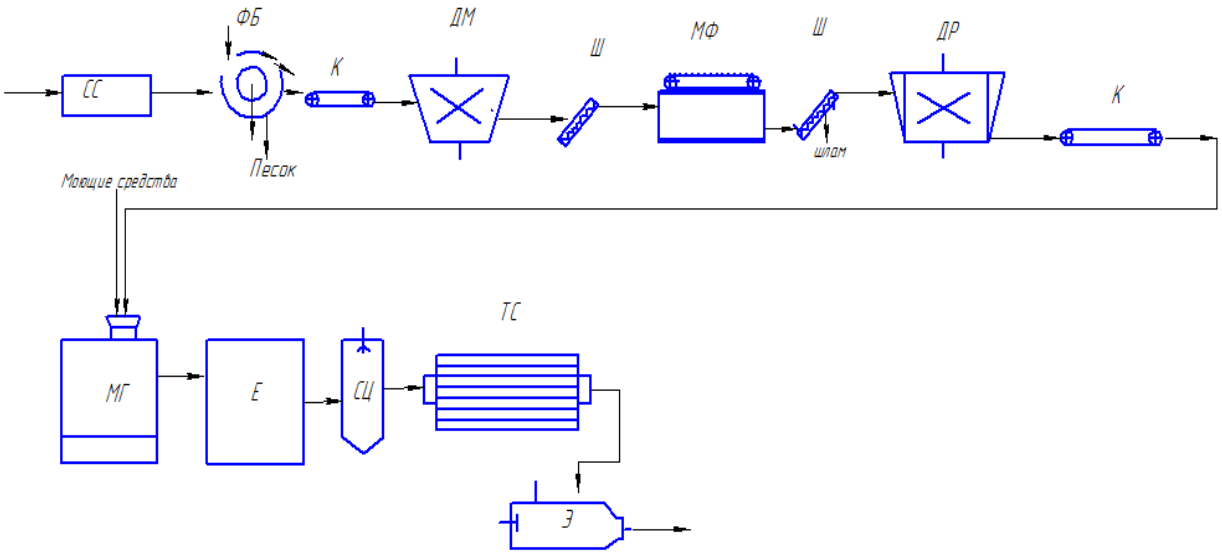
Зона дозирования (III). Продвижение гетерогенного материала (частички твердого полимера, расплав) продолжает выделять внутреннего тепла, которое является результатом интенсивных сдвиговых деформаций в полимере. Расплавленная масса продолжает гомогенизироваться до проявления в окончательном плавлении остатков твердого полимера, усреднении вязкости и температуры расплавленной части [3].

Технологическая схема переработки полимерной продукции методом экструзии (рис.2)

Перед дроблением полимерные отходы подают по ленточному конвейеру в барабанный фильтр для очистки отходов от песка, металлических примесей и грязи. После сырье поступает на металлодетектор, установленный на подающем конвейере, где определяется металлические включения черных и цветных металлов. Крупные частицы мусора предварительно отбирают вручную. Следующий этап переработки – подача сырья на моющую дробилку, а затем – флотационную мойку для предварительной промывки. Флотационная мойка предназначена для отделения мусора, дробленых этикеток и колпачков от дробленого материала. Легкие колпачки собираются и отсеиваются. Дробленый материал шнеком выводится на дальнейшую переработку. Тяжелый мусор, оседающий на дне ванны, также удаляется шнеками. В роторной дробилке материал измельчается на более мелкие фракции, а затем поступает в горячую мойку, где с помощью моющих средств удаляются клей, остатки содержимого емкостей, другие трудно отмываемые загрязнения.

После мойки сырье поступает в центрифужную сушку (для отжима), затем – в теплообменник для сушки, которая предназначена для сушки полимеров. Для окончательной просушки отжатая пленка проходит по трубам, продуваемая горячим воздухом. В сепараторе для отделения этикеток легкая пленка под воздействием воздушных потоков поднимается вверх и собирается в тряпочных накопителях. Тяжелый дробленый материал падает вниз и направляется в циклон для фасовки, а затем – в накопительный бункер [4].

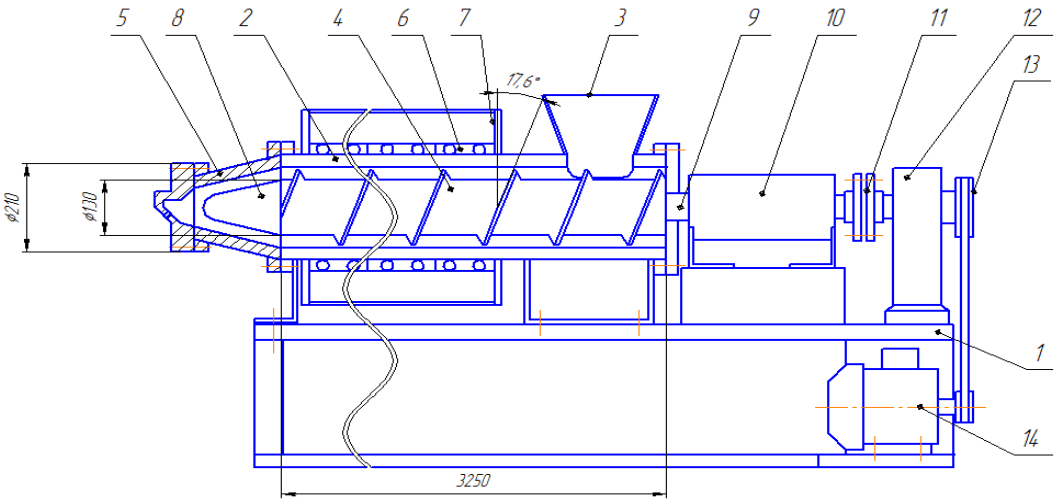
После сушки полимерные отходы подаются в экструдер для переработки в изделия.



СС – стадия сортировки отходов; БФ – барабанный фильтр;
К – конвейер ленточный; МД – моющая дробилка; ФМ – флотационная мойка;
Ш – шнек; РД – роторная дробилка; МГ – горячая мойка;
Е – емкость для промывки полимерного материала; ЦС – центрифужная сушка; ТС – теплообменник для сушки; Э – экструдер
Рис. 2. Линия экструзионной переработки полимерных отходов

Устройство и принцип функционирования экструдера. Экструдер для переработки полимерных отходов состоит из станины 1, на ней размещается материальный цилиндр 2 с загрузочным бункером 3, приводной червяк 4, размещен внутри материального цилиндра 2. Конусообразная смесительная головка 5 неподвижно закреплена на выходе материального цилиндра 2. Материальный цилиндр 2 между загрузочным бункером 3 и конусообразной смесительной головкой 5 охватывают электронагреватели 6. Комплект электронагревателей заключен в термоизолирующий корпус 7. Смесительный наконечник 8, неподвижно закреплен на валу шнека 9. Вал шнека закреплен в подшипниковом узле 10 и в движение приводится через муфту 11, редуктор 12, клиноременную передачу 13 электродвигателем 14.

Экструдер работает следующим образом. Полимерные отходы подаются в загрузочный бункер 3 материального цилиндра 2, где захватываются вращающимся приводным червяком 4 и транспортируются приводным червяком в сторону конусообразной смесительной головки 5, где полимерные отходы постепенно уплотняются и равномерно перемешиваются. Продвигаясь по материальному цилиндру 2, смесь разогревается, полимерные отходы плавятся и обволакивают частицы наполнителя за счет теплоты, которая выделяется вследствие вязкого трения, и теплоты, которая подводится от внешних нагревателей 6. Когда материал доходит до конца материального цилиндра 2, материал переходит в конусообразную смесительную головку 5. Полимерная композиция выдавливается в виде экструдата через формующее отверстие (рис.3) [5].



1 – станина; 2 – материальный цилиндр; 3 – загрузочный бункер;
4 – приводной червяк; 5 – смесительная головка; 6 – электронагреватели;
7 – термоизолирующий корпус; 8 – смесительный наконечник; 9 – вал шнека;
10 – подшипниковый узел; 11 – муфта; 12 – редуктор;
13 – клиноременная передача; 14 - электродвигатель
Рис. 3. Экструдер для переработки полимерных отходов

Заключение

На основе передового отечественного и зарубежного опыта в области экологической безопасности установлено, что наилучшей из доступных технологий, применяемой при вторичной переработки полимерных отходов, является экструзионная переработка, так как не приводит к образованию токсичных выбросов ввиду невысоких температурных режимов процесса и ввиду ресурсосбережения и энергосбережения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Шугалей И.В.* Проблемы утилизации отходов полимеров в России /И.В. Шугалей. – М.: Теза, 2011. – 12 с.

2. *Мирошников А.М.* Основы технологии органических веществ и полимеров: учеб. пособие / А.М. Мирошников, С.В. Орехова. – М.: КТИПП, 2013. – 109 с.

3. *Гидиятуллина И.И.* Способы переработки твердых отходов с целью минимизации техногенного воздействия на окружающую среду // XVII Международная конференция «Химия и инженерная экология: материалы XVII Международной научной конференции и школы для молодых ученых» (Химия и инженерная экология, Россия, 27 – 29 сентября 2017 г.) – Казань: издательство «Бриг», 2017. – С 92 – 94.

4. *Кривошеин Д.А.* Основы экологической безопасности производств / Д.А. Кривошеин, В.П. Дмитренко, Н.В. Федотова. – М.: Издательство Лань, 2015. – 336 с.

RECYCLING OF POLYMER WASTE BY EXTRUSION

Gidiyatullina I.
Lady.Ilsina@yandex.ru
Supervisor: A. Zhelovitskaya, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The review and substantiation of the method of polymer waste processing by extrusion is given. The technological scheme of processing of polymeric materials is described.

УДК 571.53

РАСЧЕТ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ КОМПОНЕНТОВ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ВАХИТОВСКОГО РАЙОНА Г. КАЗАНИ

Гисматуллина А.И.
gismaliya@gmail.com
Научный руководитель: С.А. Мальцева, канд. хим. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной работе рассмотрены концентрации загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух через выбросы автотранспорта. Приведены результаты исследования распространения загрязнителей.

Загрязнение окружающей среды является сложной и многоаспектной проблемой. Основное её следствие в современной трактовке представляется в виде возможного отрицательного последствия для здоровья как настоящего, так и будущего поколения. Человек в ряде случаев уже нарушил и продолжает нарушать некоторые важные экологические процессы от которых зависит его существование. К этим нарушениям относится и изменение атмосферы.

Оценка выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, наряду с оценкой поступления загрязняющих веществ в гидросферу и отходов в окружающую среду необходима для обоснования мер инженерной защиты окружающей среды и обеспечения техногенной безопасности [1-6].

Казань — один из крупнейших промышленных баз Российской Федерации с существенным числом производственных компаний и высокой интенсивностью движения автомобильного и железнодорожного транспорта. При этом автотранспорт входит в число основных вкладчиков в загрязнение атмосферного воздуха населенных пунктов, то есть рост числа автомобилей ведет к росту антропогенного воздействия на окружающую среду. Это происходит из-за источения его двигателями в воздух диоксиды азота и серы, оксиды углерода, сажу, бенз(а)пирен [7-9]. А они, прежде всего, опасны тем, что попадают непосредственно в приземный слой атмосферы, где скорость ветра незначительна и поэтому газы плохо рассеиваются. Из-за этого компоненты выхлопных газов становятся причиной возникновения кислотных дождей и смогов.

Для определения концентраций газообразных токсикантов и сажи, попадающих в придорожное пространство с выхлопами автомобильного транспорта используется метод расчета и метод натурных исследований.

Для определения характеристик автотранспортных потоков на выбранных участках улично-дорожной сети проводится анализ проезжающих автотранспортных средств в обоих направлениях с делением по группам. Подсчет проходящих по данному участку автомагистрали транспорта проводится в течение 20 минут. Для обнаружения максимальной транспортной нагрузки трассы наблюдения выполняются в «часы-пик». Для многих городских автодорог отмечается два максимума: утренний и вечерний (соответственно с 8 часов до 10 часов и с 17 часов до 19 часов), для большинства транзитных автомагистралей наибольшая транспортная нагрузка характерна для дневного времени суток. Определение концентраций загрязняющих веществ в нашем случае осуществлялось с помощью программы расчета рассеивания выбросов загрязняющих веществ - УПРЗА «Эколог», версия 4.50.

Общий выброс загрязняющих веществ от автотранспорта на исследуемых автодорогах территории Вахитовского района г. Казани представлен в таблице 1.

Таблица 1

Суммарный выброс загрязняющих веществ от автотранспорта по исследуемым автомагистралям на территории Вахитовского района г. Казани

№	Наименование вещества	Суммарный выброс, г/с
1	Азот (IV) оксид	3,25
2	Азот (II) оксид	0,66
3	Сажа	1,7
4	Ангидрид сернистый	0,04
5	Углерод оксид	9,1
6	Бенз/а/пирен (3,4-Бензпирен)	0,000001
7	Формальдегид	0,01

Распространение концентраций загрязняющих веществ рассчитывались по методике ОНД-86 с использованием программных средств (УПРЗА- Эколог) [10]. В расчетах приземных концентраций загрязняющих веществ использовались мощности выбросов загрязнителей в атмосферу.

Поля концентраций диоксида азота в период наблюдений (10:00-11:00;12:00-14:00) представлены на рисунке 1.

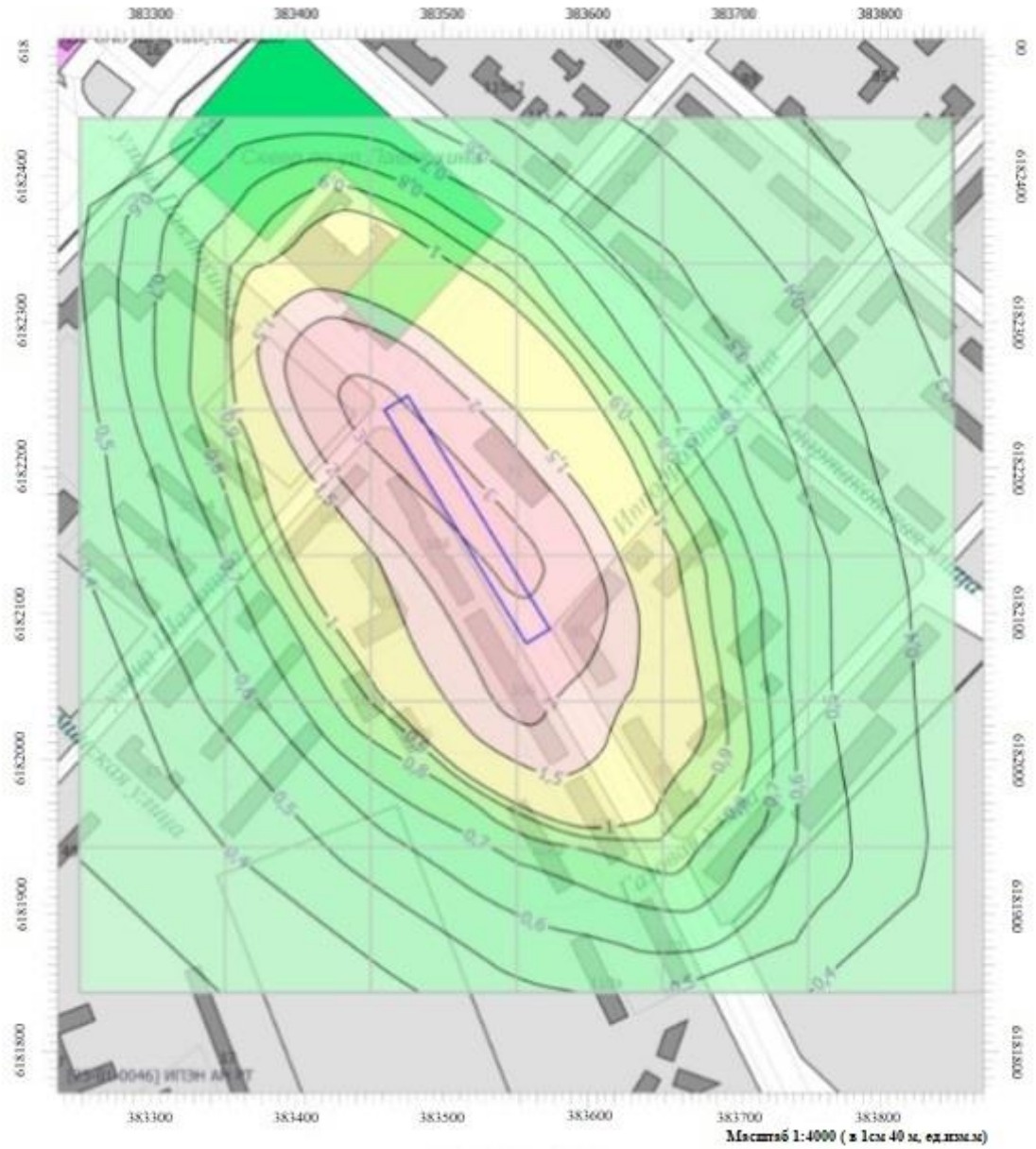


Рис. 1. Поля концентрации диоксида азота

По результатам исследования загрязнения воздуха на участке автодороги - ул.Павлюхина (ул.Ипподромная – ул.Шаляпина) за август 2018 года можно сделать вывод, что диоксид азота присутствует в атмосфере в сверхнормативной концентрации. За период наблюдения оно колебалось от 0,2 до 3 ПДК, что превышает максимально разовую ПДК (ПДКмр(NO_2) = 0,2мг/м3).

Таким образом, в атмосферном воздухе города Казани присутствует превышение нормы предельно допустимых концентраций.Следовательно, необходимо проведения мероприятий по регулированию потоков автотранспорта, в первую очередь связанных с формированием движения автомобилей на локальном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мингазетдинов И.Х., Мальцева С.А., Гоголь Э.В., Тунакова Ю.А.* Выбор и обоснование рациональной очистки сточных вод производств синтетических полимеров и пластических масс // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №14. С. 131-133**.**

2. *Кремлева Н.В., Буданов А.Р., Мальцева С.А., Тунакова Ю.А.* Стабилизатор полиолефинов фенолят никеля как вторичное сырье, получаемое при очистке гальванических стоков сернисто-щелочным отходом производства моторных масел // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т.18. №3. С. 101-103**.**

3. *Мингазетдинов И.Х., Григорьева И.Г., Мальцева С.А., Тунакова Ю.А.* Проектирование рациональной системы вентиляции для очистки воздуха производственных помещений от полимерной пыли // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.1. №5. С. 194-197.

4. *Кулаков А.А., Мальцева С.А.* К вопросу о механизме осаждения ионов меди (II) в процессе гальванокоагуляционной очистки медьсодержащих сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т.19. №21. С. 17–21.

5. *Гоголь Э.В., Мингазетдинов И.Х., Гумерова Г.И., Егорова О.С., Мальцева С.А., Григорьева И.Г., Тунакова Ю.А.* Анализ существующих способов утилизации и переработки отходов полимеров// Вестник Казанского технологического университета. 2013. №10. С. 163-169**.**

6. *Гоголь Э.В., Мингазетдинов И.Х., Гумерова Г.И., Егорова О.С., Мальцева С.А., Григорьева И.Г., Тунакова Ю.А.* // Устройство для измельчения отходов // Вестник Казанского технологического университета. №10/2013, с.223-226.

7. *Шагидуллина Р.А., Тунакова Ю.А., Григорьева И.Г., Валиев В.С.* Способ прогноза концентраций примесей в приземном слое атмосферного воздуха сб. трудов Шестого международного экологического конгресса (Восьмой международной научно-технической конференции), "Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов" ELPIT 2017, 20-24 сентября 2017 г. С. 180-183.

8. *Зубкова А. Д., Степанова Н. Ю.* Мониторинг атмосферного воздуха города Казани в период максимальной транспортной нагрузки // Молодой ученый. — 2016. — №22. — С. 124-126. — URL: https://moluch.ru/archive/126/35030/ (дата обращения: 18.05.2019).

9. *Шамсияров Н.Н., Галиуллин А.Н., Тимерзянов М.И., Тафеева Е.А.* Природно-климатические условия и состояние атмосферного воздуха в городе Казани // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5.- URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=15182

10. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ содержащихся в выбросах предприятий. ОНД 86, ГОСКОМГИДРОМЕТ, 1997 – 78 с.

CALCULATION OF THE FIELDS OF CONCENTRATIONS OF THE COMPONENTS OF POLLUTANT EMISSIONS BY ROAD INTO THE ATMOSPHERIC AIR OF THE VAKHITOVSKY DISTRICT OF KAZAN

Gismatullina A.
gismaliya@gmail.com
Student's Supervisor: S. Maltseva, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

In this paper we consider the concentration of pollutants entering the air through emissions of vehicles. The results of the study of the spread of pollutants are presented.

УДК 674.613

ЭМИССИЯ ФОРМАЛЬДЕГИДА ИЗ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Гисматуллина А.И.
gismaliya@gmail.com
Научный руководитель: Э.В. Гоголь, канд. хим. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной работе рассмотрены причины выделение формальдегида из древесно-стружечных плит. Приведены требования по содержанию данного загрязняющего вещества в ДСП и в воздухе. Особое внимание уделено методам снижения эмисии формальдегида.

Древесно-стружечные плиты (ДСП) – это листы, которые получают при прессовании древесной стружки, склеенной с помощью клея. Они стали популярными у производителей мебели, строительства и отделке помещений благодаря материалам из которых изготавливаются. Отходы древесины, сжигаемые до этого, превратились в полезный материал, легко изготавливаемый и простой в применении. К достоинству ДСП также относится прочность, которая ни чуть не уступает прочности натуральной древесины.

Клей, используемый при производстве плит в качестве связующего элемента, основан на меламиновых, карбамидоформальдегидных или фенолформальдегидных смолах. Они малотоксичные, содержат в своем составе около 0,15 % свободного формальдегида. Его наличие в этих смолах обязательно, в противном случае их клеящая способность оказывается низкой, и они становятся не пригодными для употребления. Поэтому в результате определенных реакций древесно-стружечная плита практически постоянно выделяет ядовитое для человека летучее соединение – формальдегид. В зависимости от содержания формальдегида плиты изготовляют двух классов эмиссии, указанных в табл. 1

Таблица 1

Содержание формальдегида в ДСП

Класс эмиссии формальдегида	Содержание формальдегида, мг на 100 г абсолютно сухой плиты
E1	Не более 10
E2	от 10 до 30

В Российской Федерации в большинстве случаев производятся, продаются и используются на стройплощадках ДСП класса E2. Предельно допустимая норма выделения формальдегида из данной плиты в воздух должно составлять от 0,124 до 1,25 мг/м3 включительно.

ДСП класса выделения формальдегида E1, при эмиссии равной 0,124 мг/м3, используются для производства мебели для детских комнат и помещений, где постоянно находятся люди. Согласно ГОСТу 30494-2011, к таким помещениям относятся комнаты, в

которых люди находятся не менее 2 ч непрерывно или 6 ч суммарно в течение суток.

Стандартами Евросоюза предусмотрен выпуск плит класса эмиссии Е0 с содержанием формальдегида менее 6,5 мг в 100 граммах абсолютно сухого материала. Российский ГОСТ 10632-2007 выпуск таких материалов не регламентирует.

Известно, что по внешнему виду древесно-стружечные плиты разных классов эмиссии формальдегида не отличаются, но их различие можно выявить по стоимости. Так, продукция класса Е0 на 60% дороже Е1, а продукция Е1 на 30-40% дороже Е2.

Формальдегид (муравьиный альдегид, метанол, оксометан) — это химическое вещество, которое широко распространено в окружающей среде. Хорошо растворяется в спирте и воде. Его относят ко второму классу опасности, т.е. к высокоопасным веществам. Согласно данным Международного агентства по исследованию рака, входящего во Всемирную организацию здравоохранения, формальдегид с 2012 г. официально является канцерогеном, то есть веществом, вызывающим рак [1].

В России установлены жесткие требования по содержанию формальдегида в воздухе и в настоящее время согласно ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» должна составлять для производственных помещений – 0,5 мг/м3, для жилых помещений – 0,01 мг/м3. Но по данным Центра сертификации лесопродукции («Лессертика») ЗАО «ВНИИДРЕВ», выделение формальдегида из готовых плитных материалов при обследовании 180 Российских предприятий значительно превышает предельно-допустимое его значение и составляет от 0,02 до 0,43 мг/м3 воздуха при исследовании по камерному методу [2]. Суть этого способа заключается в измерении уровня вредного вещества в воздухе камеры объемом 1 куб. м., внутрь которой помещен образец древесно-стружечной плиты с площадью поверхности 1 кв. м. Камерный метод считается самым эффективным и на основе его показателей дается гигиеническое заключение о возможности использовать ДСП в промышленности. Современные методы изготовления позволяют производить древесно-стружечные плиты с содержанием формальдегида значительно более низким, чем установленные предельно допустимые концентрации.

Вдохнуть сколько-нибудь значимое количество формальдегида в обычных условиях, а также получить какой-то вред для здоровья из-за его остаточного содержания в ДСП крайне сложно. Он постоянно улетучивается - и во время хранения на складе, и во время перевозки, то есть все время, начиная с момента прессования. Средняя скорость выделения карбонильных соединений из типичных источников помещений составляет 2,7±1,5 мг/час [3]. Считается, что наибольшая часть испарений формальдегида происходит в течение 6 месяцев после покупки новой мебели. Но даже после этого срока опасные вещества из древесно-стружечных плит продолжают выделяться, причём их испарение значительно увеличивается в отопительный сезон зимой: под нагревом от батарей формальдегид ещё быстрее испаряется, а сухой воздух помещений приводит к тому, что его концентрация в воздухе увеличивается. В среднем формальдегид выветривается из мебели и напольных покрытий около 3 — 5 лет.

Недостаточное перекрытие пор, микротрещины, механические повреждения приводят к снижению уплотняющего воздействия покрытия ДСП, вследствие чего увеличивается эмиссия формальдегида.

Существуют множество методов снижения эмиссии формальдегида из древесно-стружечных плит без заметного изменения их физико-механических свойств. Они разнообразны и имеют неоднозначные последствия как с точки зрения эффективности, так и с точки зрения реализуемости на практике в промышленном масштабе. Рассмотрим некоторые из них:

1) Использование непроницаемых покрытий. Этот метод может сократить выделение формальдегида за счет «физического барьера». Среди «барьерных» отделочных материалов можно использовать полимерные пленки, шпон, бумагу, грунтовки, шпатлевки, лаки, эмали. То есть, материалы, не содержащие формальдегид. Такой метод позволяет снизить эмиссию

формальдегида в два – десять раз

2) Использование двух видов покрытий: плотного – предотвращающего выделение формальдегида и проникновение влаги в плиту, и связывающего – покрытие, которое содержит химически-реактивные компоненты, связывающие формальдегид. При такой отделки эмиссия формальдегида из плиты после плотного покрытия составляет 0,32-0,07 мг/м3 воздуха, а после нанесения связывающего слоя – 0,04-0,01 мг/м3 воздуха [4].

3) Применение низкомольных смол в сочетании с комбинированным катализатором. Этот метод позволяет снизить эмиссию формальдегида до 6,9 мг на 100 г, что соответствует токсичности плит класса Е1, при необходимых физико-механических свойствах ДСП [5].

4) Обработка кромок древесно-стружечных плит парафином при температуре 40 °С. В результате применения этого метода выделение формальдегида уменьшается от 1,44 до 0,75 мг/м3, а при последующей отделке пленочными материалами обнаруживаются только следы формальдегида.

Таким образом, древесно-стружечные плиты являются недорогими и современными конструкционно-отделочными материалами, которые применяются там, где использование более дорогостоящих материалов экономически не выгодно. Но при активном развитии промышленной индустрии и массовом использовании древесных плит в качестве напольных покрытий, строительных материалов и продукции для декоративной отделки интерьеров существует серьезная опасность превышение фонового уровня концентрации формальдегида в жилых и офисных помещениях. Его эмиссию можно значительно уменьшить за счет ряда мер, показанных выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Захарова А.В.* Влияние формальдегида на организм // Международный студенческий научный вестник. – 2014. – № 3.

URL: http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=11900 (дата обращения: 03.06.2019).

2. *Разиньков Е.М.* Миграция формальдегида из древесно-стружечных плит // Лесотехнический журнал. – 2013. - №4(12). URL: https://cyberleninka.ru/article/v/migratsiya-formaldegida-iz-drevesno-struzhechnyh-plit (дата обращения: 03.06.2019)

3. *Усманова Л.М.* Воздействие формальдегида на живой организм и его содержание в воздухе жилых помещений // Молодежный научный форум: Естественные и медицинские науки: электр. сб. ст. по мат. XXV междунар. студ. науч.-практ. конф. № 6(24). URL: https://nauchforum.ru/archive/MNF_nature/6(24).pdf (дата обращения: 03.06.2019)

4. *Берестян Л.В.* Защитные покрытия на необлицованной древесностружечной плите. Деревообрабатывающая промышленность. Вып.5, 1996.

5. *П.А.Хотилович* Методы снижения токсичности древесностружечных плит [Электронный ресурс] - 2001. URL: http://www.drevesina.com/materials.htm/a7/b55/ (дата обращения: 03.06.2019)

FORMALDEHYDE EMISSION FROM PARTICLE BOARD

Gismatullina A.

gismaliya@gmail.com

Student’s Supervisor: E. Gogol, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

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

In this paper, the reasons for the isolation of formaldehyde from chipboards are considered. The requirements for the content of this pollutant in the chipboard and in the air are given. Special attention is paid to the methods of formaldehyde emission reduction.

УДК 628.35

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В ЗОНЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АТП

Глущенко И.А.
irina.glushchenko.96@mail.ru
Научный руководитель: О.С. Сибгатуллина, Р.Р. Шипилова
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Целесообразность внедрения адсорбционного метода очистки загрязненного воздуха определяется не только экономической целесообразностью, но и жесткими требованиями действующего природоохранного и санитарного законодательства к качеству и производственному контролю состава очищаемого воздуха в рабочей зоне. Предложенная система очистки позволяет учесть все современные тенденции в обеспечении техносферной безопасности.

С ежегодным ростом муниципального автомобильного транспорта все большее развитие получают автотранспортные предприятия (АТП), относящиеся к числу основных объектов городского хозяйства, которые вносят значительный вклад в загрязнение окружающей среды. Техническое обслуживание и ремонт автотранспорта приводят к образованию на АТП большого количества выбросов.

Проблема защиты атмосферного воздуха от вредных выбросов ДВС приобрела сейчас особое значение в силу того, что в результате процесса укрупнения городов количество автотранспортных единиц постоянно увеличивается. Загрязняющие вещества поступают в воздух практически на уровне зоны дыхания человека. Поэтому автотранспорт следует отнести к наиболее опасным источникам загрязнения. Любое автотранспортное предприятие считается местом, где будут образовываться экологически опасные выбросы (NO_x, CO и т.д.). Причем, установлено, что в ходе обслуживания автомобилей основная доля выбросов поступает в атмосферный воздух в результате передвижения автотранспортных средств на малых скоростях. Известно, что при таком передвижении выбросы, поступающие в воздух, обладают следующими характеристиками, а именно, концентрация и количество загрязняющих веществ в разы увеличивается.

Для обеспечения нормального функционирования предприятия на его территории располагается комплекс ремонтно-технического обслуживания автотранспорта. В результате проведенных исследований выявлено, что в результате технологического процесса на подобном предприятии в атмосферный воздух поступает большое количество органических и неорганических загрязняющих веществ (аэрозоль масла, соединения свинца, серная кислота, сернистый ангидрид, дивинил, изопрен, бензин и т.д.). Образующиеся вредные вещества пагубно действуют на городскую среду. В связи с этим, следует предусматривать мероприятия, обеспечивающие снижение выделений вредных веществ в выбросах, до величин, удовлетворяющих нормам предельно-допустимых концентраций. Целесообразность внедрения адсорбционного метода очистки загрязненного воздуха определяется не только экономической целесообразностью, но и жесткими требованиями действующего природоохранного и санитарного законодательства к качеству и производственному контролю состава очищаемого воздуха в рабочей зоне. Предложенная система очистки позволяет учесть все современные тенденции в обеспечении техносферной безопасности.

Для очистки отходящих газов на территории предприятия авторами предлагается следующая технологическая схема (рис. 1). Загрязненный воздух отдельно с каждого участка попадает в вытяжную вентиляцию. Согласно ведомственным указаниям по противопожарному проектированию предприятий ВУПП – 88, учитывая взрывоопасность угольной пыли, требуют использования специальных устройств, предотвращающих возможность возникновения взрывов и пожаров. С этой целью перед подачей в адсорбер смесь проходит через огнепреградитель ОГ с предохранительными мембранами и рукавный

фильтр Ф.

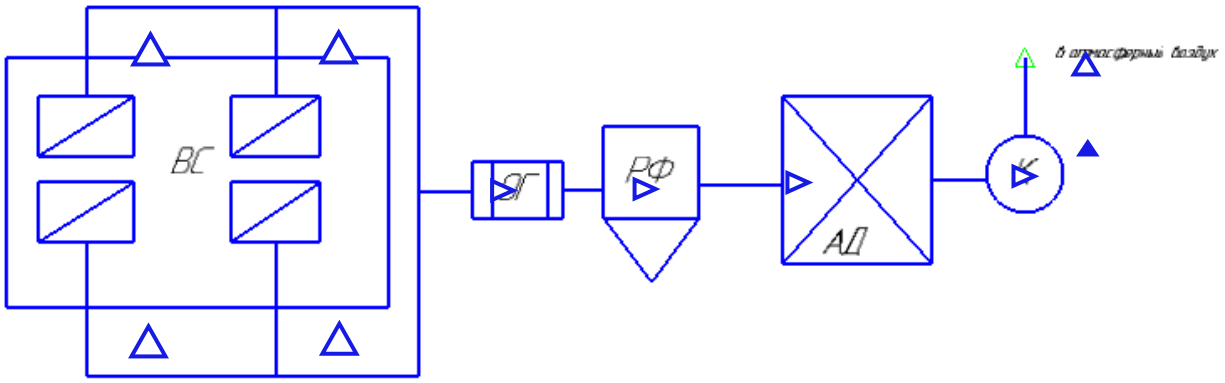


Рис. 1. Технологическая схема адсорбционной очистки отходящих газов

Аппараты, входящие в систему очистки воздуха в зоне технического обслуживания на АТП работают следующим образом. Очистка загрязненной воздушной смеси от механических примесей в первую очередь зависит от характера пыли и степени запыленности. В данной схеме адсорбционной очистки для данных целей используется рукавный фильтр. Назначение огнепреградителя сводится к прерыванию движущегося потока горящего газа за счет охлаждения его до такой температуры, при которой слои уже не смогут воспламениться. Такое охлаждение происходит вследствие того, что тепло, выделяющееся при горении, воспринимается насадкой огнепреградителя. В качестве огнепреградительного слоя был выбран гравий. Основным аппаратом очистки газового потока от предельных и непредельных углеводородов является адсорбер (рис. 2), работа которого осуществляется в четыре стадии.

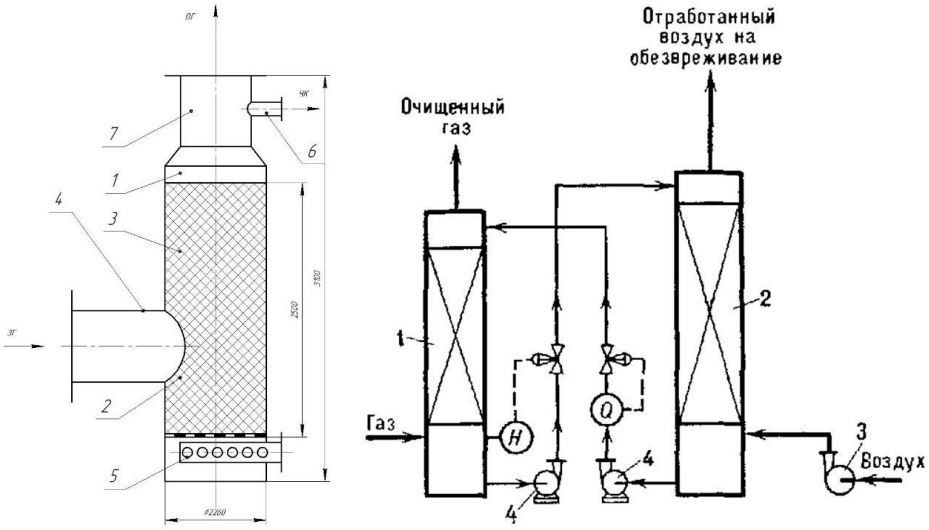


Рис. 2. Адсорбционная установка для очистки отходящих газов

Загрязненный воздух попадает в корпус аппарата через патрубок и проходя через слой адсорбента очищенный газ выходят через выходной патрубок. Следующая стадия – десорбция поглощенного компонента из адсорбента. Подача воздуха прекращается, далее подается через барботер водяной пар. Смесь паров десорбированного компонента и воды удаляется через штуцер. Конденсат водяного пара отводится из аппарата после десорбции через штуцер. Далее – сушка адсорбента. Перекрывается вход и выход водяного пара, после чего адсорбент сушится горячим воздухом, поступающим в аппарат через входной патрубок и выходящим из аппарата через выходной патрубок. Завершающая стадия – охлаждение адсорбента. Прекращается подача горячего воздуха, после чего адсорбент охлаждается холодным воздухом. По окончании данной стадии цикл работы аппарата повторяется со

стадии адсорбции

Таким образом, описанная технологическая линия автотранспортного предприятия с точки зрения техногенной опасности для атмосферного воздуха дает возможность повысить уровень очистки воздуха, регулировать время процесса очистки, экономить площадь, занимаемую очистными сооружениями. Требования к уровню очистки воздуха – на выходе $С_{вых}$ = 5мг/м^3, $С_{вх}$ = 100мг/м^3. Эффективность очистки составляет 95%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы). Учебное пособие. Ветошкин А.Г., Таранцева К.Р. – Пенза: Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2004. - с.: ил., библиогр.

2. Биотехнологии в системах очистки сточных вод. Учебно-методическое пособие/ В.В. Кирсанов.- Казань: Изд – во Казан. гос. техн. ун-та, 2016.

MODERNIZATION OF THE AIR CLEANING SYSTEM IN THE AREA OF TECHNICAL MAINTENANCE OF THE MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE

Glushchenko I.

irina.glushchenko.96@mail.ru

Supervisor: O. Sibgatullina, R. Shipilova

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

The feasibility of introducing an adsorption method for purifying polluted air is determined not only by economic feasibility, but also by the stringent requirements of current environmental and sanitary legislation on the quality and production control of the composition of the purified air in the working area. The proposed cleaning system allows to take into account all current trends in ensuring technosphere safety.

УДК 628.3

КОМБИНИРОВАННЫЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ СЕПАРАТОР В СИСТЕМЕ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Закирова Л.И.

zakirova_lilliya@mail.ru

Научный руководитель: И.Х. Мингазетдинов, канд. техн. наук, профессор

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

Рассмотрены сточные воды машиностроительных предприятий, основные загрязнители, организация локальных водооборотных систем и схема комбинированного центробежного сепаратора, сочетающего центробежное разделение, флотацию и сорбцию.

Предприятия машиностроения характеризуются большим разнообразием номенклатуры выпускаемых изделий. К ним относятся отрасли авиастроения, двигателестроения, приборостроения, станкостроения и целый ряд других отраслей. Все эти предприятия потребляют значительное количество водных ресурсов (около 10% - 15%). Используемая в различных технологических процессах, вода загрязняется веществами различного агрегатного химического состава.

В работе [1] приведены данные по виду загрязняющих веществ в воде: примерно 75% - механические загрязнения, около 20% - составляют масла, СОЖ, нефтепродукты и примерно 5% - химические загрязнения.

Одним из прогрессивных путей рационального водопользования является разработка локальных систем очистки с замкнутым оборотом используемой воды. Важным требованиям к локальным устройствам очистки является их компактность, в виду ограниченности рабочих площадей в цехах.

В работе [2], [3] приводится новая разработка устройства очистки рабочих жидкостей для использования в системах локальной очистки загрязненных вод.

В этом устройстве реализуются одновременно два принципа очистки от загрязнителей – центробежная сепарация и флотация с аэродинамическим удалением пены. Разработанное устройство позволяет очищать отработанную производственную воду от взвешенных веществ (частицы металла, абразива, компонентов связующих веществ), масел, СОЖ, нефтепродуктов. Однако, в отработанной воде могут содержаться растворенные вещества, негативно влияющие на технологические процессы при организации оборотного водоснабжения.

Для комплексной очистки сточных вод, в устройство [3] введена модернизация.

В выходной магистрали, непосредственно в центральной отводной трубе устанавливается сменная кассета с насыпным поглотителем. В качестве насыпного поглотителя могут использоваться или сорбенты, или ионообменные смолы.

Сорбенты характеризуются активностью, которая оценивается количеством поглощаемого загрязнителя на единицу объема сорбента. Применительно к нашему случаю используется понятие динамической активности, которая оценивается наибольшим количеством вещества, которая поглощается единицей объема сорбента до момента «проскока», при котором загрязнитель присутствует в воде после насыпного фильтра. Характеристики используемых сорбентов в фильтрах оценивают или уравнением Ленгмюра, или Фрейндлиха.

Для проектирования сорбционного фильтра необходимо установить время достижения предельной насыщенности сорбента компонентом загрязняющего вещества, которое определяется по экспериментальной изотерме сорбции [4].

В связи с обратимостью сорбционных процессов, после насыщения отработанных гранул сорбента, весь фильтр необходимо заменить на новый, со свежим наполнителем, а отработанную кассету надо направить на регенерацию. Для сокращения времени замены кассеты и рационализации монтажных работ, предложена схема с использованием подвижной платформы с набором быстросъемных кассет, что позволяет значительно увеличить производительность очистки сточных вод.

Использование разработанной схемы позволяет использовать предложенные устройства в системах локальной очистки с оборотным водоснабжением.

Процесс очистки воды в предложенном аппарате происходит следующим образом. Поступающая через трубопровод исходная вода, за счет тангенциального подвода приобретает вращательное движение и, дополнительно закручиваясь на радиальных лопастях, попадает в кольцевые каналы.

Скорости жидкости изменяются по радиусу аппарата r по соотношению [1]:

$$v_т \cdot r^n = const\,, \qquad (1),$$

где vт - тангенциальная (окружная скорость),

r - радиус аппарата каждого кольцевого канала).

Значение степени n находится в интервале 0,77- 0,88. Для проектных расчетов можно принимать n=0,8.

Эффективность работы любого аппарата центробежного разделения определяется фактором разделения Kp ,[2]:

$$K_р = \frac{w^2 \cdot r}{g} = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot r}{900 \cdot g}, \qquad (2),$$

где w - угловая скорость вращения,

g - ускорение силы тяжести,

n - скорость вращения объема жидкости.

В среднем, фактор разделения может составлять 500-1000.

Закрученный поток воды в каждом кольцевом канале поднимается наверх и, ограничиваясь козырьком-отражателем, вытекает в пространство аппарата. Масла и нефтепродукты, СОЖ, как более легкие фракции, остаются ближе к центру аппарата и поднимаются в верхнюю часть, а основная масса жидкости вместе с взвешенными частицами отбрасывается к наружным стенкам аппарата.

Одновременно с подачей воды на очистку осуществляется подача воздуха (или другого флотоагента) в барботажную полость и пузырьки воздуха, выходя через перфорированную перегородку, поднимаются наверх, увлекая частицы загрязнителя.

Очищенная от масел, СОЖ и взвешенных веществ вода поступает в нижнюю полость аппарата и через центральную трубу проходит через фильтр, где протекает через слой с гранулами сорбента, очищается от растворенных органических соединений, поверхностно-активных веществ (ПАВ), красителей.

Пройдя через сорбционный фильтр, очищенная вода подается потребителям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Макаров В.М., Беличенко Ю.П., Галустов В.С., Чуфаравский А.И.* Рациональное использование и очистка воды на машиностроительных предприятиях // М. Машиностроение. 1988. – 272 с.

2. *Мингазетдинов И.Х., Закирова Л.И.* Разработка новой схемы очистки сточных вод машиностроительных предприятий // Сборник «XVII» Международная научная конференция (школа молодых ученых) «Химия и инженерная экология» 27-29 сентября 2017. С.13-15.

3. *Мингазетдинов И.Х., Закирова Л.И., Бурова И.Д., Лисин Р.А. // Устройство для центробежно-флотационной очистки сточных вод. Патент на полезную модель №173778, Бюл. №26 от 11.09.2017.*

4. *Мингазетдинов И.Х., Кулаков А.А., Газеев Н.Х., Кудрявцева Е.В., Галимова А.Р.* Повышение эффективности технических методов очистки сточных вод для предприятий энергетики // Энергетика Татарстана. № 4. 2013. С. 59-64.

COMBINED CENTRIFUGAL SEPARATOR IN THE SYSTEM OF ROUTINE WATER SUPPLY

Zakirova L.

zakirova_lilliya@mail.ru

Supervisor: I. Mingazetdinov, Candidate of Technical Sciences, Professor

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

Wastewater from engineering enterprises, the main pollutants, the organization of local water circulation systems and the scheme of a combined centrifugal separator combining centrifugal separation, flotation and sorption are considered.

УДК 628.3

УСТРОЙСТВО БЫСТРОСЪЕМНОЙ КАССЕТЫ ДЛЯ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Закирова Л.И.

zakirova_lilliya@mail.ru

Научный руководитель: И.Х. Мингазетдинов, канд. техн. наук, профессор

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

Рассмотренное устройство и схемы сорбционной очистки сточных вод. Необходимость периодической десорбции снижает производительность процесса очистки. Предложена схема быстросъемной кассеты с насыпным сорбентом значительно снижающее технологическое время замены фильтра.

В практике очистки промышленных сточных вод используют многоступенчатые схемы очистки, при которых поэтапно освобождаются от загрязняющих веществ различного фракционного и агрегатного состояния.

Одним из эффективных завершающих этапов очистки является метод сорбции. Часто используют процесс адсорбции с поглощением вещества поверхностным слоем твердого вещества. В качестве сорбентов используют различные пористые искусственные и природные материалы. Одним их эффективных адсорбентов являются активированные угли различных марок.

В работах [1], [2], [3] рассмотрена рациональная схема и устройство комбинированной очистки сточных вод для использования в локальных системах водоочистки. В этом устройстве реализуется центробежное разделение и флотация. Для расширения диапазона использования предложенного устройства в отведенном патрубке устанавливается сменная кассета с насыпными гранулами сорбента. По мере эксплуатация сорбент насыщается растворенным веществом и после исчерпания динамической сорбционной емкости может происходить «проскок» загрязнителя. Для исключения этого, необходимо кассету с сорбентом менять и направлять её на регенерацию. В существующих системах очистки реализуются следующие варианты – или прекратив процесс очистки, проводить процесс регенерации непосредственно в этом же устройстве. Вследствии этого производительность процесса снижается в два раза.

Другой вариант – организовать две параллельных ветви очистки, с взаимным переключением потоков очищаемой воды. Когда в одной ветви происходит процесс очистки, в другой ветви реализуется регенерация сорбента. В этом случае производительность не уменьшается, но значительно удорожается вся система очистки.

Для рационализации устройства очистки и сокращения времени замены отработанного сорбента, сорбционная камера выполнена в виде сменной кассеты, расположенной на поворотной платформе. Платформа оборудована кулачковым замком и шариковым фиксатором. Кассетная камера представляет собой цилиндр, заполненной гранулами сорбента, закрытой сверху и снизу непровальными сетками. Диаметр корпуса фильтра равен диаметру центральной трубы. Фильтр расположен на поворотной платформе, которая имеет посадочные места с прокладками. Поворотная платформа имеет возможность поворота вокруг вала и может перемещаться вертикально по валу, по шлицевому соединению. Поворотная платформа в посадочных местах имеет перфорацию для прохода воды через фильтр. В верхней части корпус фильтра имеет кольцевой фланец с уплотнителем. Аналогичный фланец с уплотнителем имеется на центральной отводной трубе. Перевод фильтра вместе с поворотной платформой из рабочего положения в режим замены фильтра осуществляется через узел управления. Узел управления представляет собой кинематическую пару «винт-гайка» с регулировочной рукояткой. Прижимной стержень, проходящий внутри полого винта, имеет опорную шайбу, которую, с одной стороны, отжимает пружина, с другой стороны, регулирует профилированный кулачок. Вращательное движение кулачка преобразовывается в поступательное движение прижимного стержня. Для обеспечения постоянного контакта кулачка с опорной шайбой используется силовое замыкание за счет пружины.

Реализация предложенного устройства осуществляется следующим образом. В зависимости от вида загрязняющего компонента и его исходной концентрации, выбирается наиболее рациональный сорбент. Номенклатура активированных углей достаточно широка (марки ФСУ – 2, ФСУ – 3, ОУ – А, ОУ – Б и др.) и они отличаются размерами зерен, насыпной массой, объемом микропор, прочностью и другими показателями.

Для использования и регулирования замены кассеты в предложенном устройстве определяющим параметром является время защитного действия фильтра – $t_{з.д.}$, которое определяется по методике [4]:

$$t_{з.д.} = K_{з.д.} \cdot H - \tau, \quad (1),$$

Где $K_{з.д.}$ – коэффициент защитного действия, определяемый на основе опытов;

Н – высота слоя сорбента [м], в нашем случае это конструктивный размер – высота кассеты;

τ – потеря времени защитного действия, [ч].

Определяется значение $K_{з.д.}$ по соотношению:

$$K_{з.д} = \frac{\alpha_{равн}}{V \cdot C_{нач}}, \quad (2),$$

здесь $\alpha_{равн}$ – предельная равновесная насыщенность сорбента, [кг/м^2], она определяется по экспериментальной изотерме;

V – скорость фильтрования, [м/ч];

$C_{нач}$ – начальная концентрация вредного компонента в исходной воде [кг/м^3].

В соотношении (1) значение τ определяется по зависимости:

$$\tau = \varepsilon \cdot \Delta\tau \quad (3),$$

где ε – пористость гранул сорбента (в долях);

τ- время достижения концентрации загрязнителя от $C_{нач}$ до концентрации $C_{доп}$, после которого начинается «проскок».

По полученной экспериментальной кривой динамики сорбции устанавливают время насыщения сорбента назначают периодичность замены кассеты.

Профилирование кулачка осуществляется из условия выполнения самоторможения, для исключения самопроизвольного поворота кулачка относительно опорной шайбы.

Периодичность замены определяется экспериментально, исходя из полученных изотерм сорбции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мингазетдинов И.Х., Закирова Л.И.* Разработка новой схемы очистки сточных вод машиностроительных предприятий // Сборник «XVII» Международная научная конференция (школа молодых ученых) «Химия и инженерная экология» 27-29 сентября 2017. С.13-15.

2. *Мингазетдинов И.Х., Закирова Л.И., Бурова И.Д., Лисин Р.А. //* Устройство для центробежно-флотационной очистки сточных вод. Патент на полезную модель №173778, Бюл. №26 от 11.09.2017.

3. *Мингазетдинов И.Х., Кулаков А.А., Газеев Н.Х., Кудрявцева Е.В., Галимова А.Р.* Повышение эффективности технических методов очистки сточных вод для предприятий энергетики // Энергетика Татарстана. № 4. 2013. С. 59-64.

4. *Кривошеин Д.*А., *Кукин П.П., Лапин В.Л. и др*. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков // М. Высшая школа. 2003. – 344 с.

DEVICE QUICK CASSETTE FOR SORPTION PURIFICATION OF WASTE WATER

Zakirova L.

zakirova_lilliya@mail.ru

Supervisor: I. Mingazetdinov, Candidate of Technical Sciences, Professor

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

The considered device and schemes of sorption wastewater treatment. The need for periodic desorption reduces the performance of the cleaning process. A scheme for a quick-release cassette with a bulk sorbent is proposed that significantly reduces the technological time for filter replacement.

УДК 504.06

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ФИЛЬТРА ВОЗДУХООЧИСТКИ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ПЕЛЛЕТ ИЗ ОТХОДОВ ДСП

Ибрагимова Э.А.
2000-elvira@mail.ru
Научный руководитель: Э.В. Гоголь, канд. хим. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной работе описаны отходы ДСП с точки зрения опасности для окружающей среды и возможности их полезного использования в качестве альтернативного вида твердого топлива. Автором представлен пример очистки дымовых газов, выделяющихся при сгорании пеллет, приведен принцип работы фильтрующей системы, обозначены основные составляющие фильтра.

Отходы древесно-стружечных плит - это отходы, получаемые при осуществлении процессов переработки, обработки и заготовки дерева, а также после использования древесных материалов и изделий.

Рассматриваемые отходы представляют собой древесные стружки, которые смешаны со связующим веществом неминерального происхождения с введением при необходимости специальных добавок [1].

Для основного компонента ДСП – древесины (97,5% по массе) данные по эколого-токсикологическим и физико-химическим параметрам в справочной литературе отсутствуют. В соответствии с приказом Минприроды России от 04.12.2014 N536 "Об утверждении Критериев отнесения отходов к I - V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду" (пункт 11), вещества природного происхождения относятся к классу практически неопасных компонентов со средним баллом ($\mathbf{X_i}$), равным 4 и, следовательно, коэффициентом степени опасности для ОПС ($\mathbf{W_i}$), равным 1000000 и не приводятся в таблице показателей экологической безопасности отхода.

Второй компонент древесно-стружечных плит - формальдегид. Это органическое соединение, бесцветный газ с резким запахом, хорошо растворимый в воде, спиртах и полярных растворителях. Ирритант, контаминант, канцероген, токсичен [2].

На основании приказа Министерства Природных Ресурсов и Экологии Российской Федерации от 4 декабря 2014 года N 536 класс опасности ДСП определяем по индексу опасности для формальдегида (2,5 % по массе).

Судя по получившемуся показателю K_i - степени опасности компонента отхода для окружающей среды (таблица 1) можно сказать, что отходы ДСП имеют IV класс опасности.

Таблица 1

Параметры опасности компонента

Компонент	X_i	Z_i	$lg W_i$	W_i	Содержание, мг/кг, Ci	K_i
Формальдегид	2,41	2,88	2,88	762,69	25000	32,78
Сумма K_i						32,78
Класс опасности	IV (малоопасные отходы)					

В настоящее время известно множество способов утилизации отходов древесно-стружечных плит. Одним из самых распространенных направлений переработки отходов является их использование в качестве топливных гранул - пеллетов.

Для защиты организма от воздействия формальдегида существуют различные фильтры воздуха, основанные на различных принципах действия. Одним из перспективных методов

очистки воздуха является фильтрующая система для очистки дымовых газов.

Концепция заключается в том, чтобы предотвратить засорение фильтровальной ткани липкими и ультрадисперсными частицами (от 10 до 200 нм). Для этого необходимо использовать предварительное покрытие, которое образует защитную фильтрационную корку толщиной всего несколько миллиметров на поверхности фильтрующей среды. Таким образом, защитная фильтрационная корка будет создаваться поверхностной фильтрацией, а ультратонкие частицы будут осаждаться посредством глубокой фильтрации в этом тонком слое предварительного покрытия [3].

Ранее Хофлингер дал обзор о фильтрации грунтов для суспензий и газов в целом [4].Рассмотренный так называемый «тупиковый» режим - фильтрация фильтра - используется в основном для отделения твердых веществ от газов.

Как описано в работе Шиллера [5], фильтр состоит из шести фильтровальных мешков в концентрическом расположении с двумя фильтрами на одну линию удаления пыли. Поверхность фильтрации составляет 1,58 $м^2$, а в режиме фильтрации мешки пропускаются снаружи внутрь. Как только достигается заданный предел падения давления, мешки очищаются струей с давлением 0,3 МПа, и фильтрационная корка собирается в пылевой камере фильтра.

В этих исследованиях использовался однострочный режим пылеудаления, означающий, что после достижения максимального перепада давления очищается только одна из трех линий (каждая с двумя фильтровальными мешками) и сразу же после этого вводится одна треть всей необходимой массы предварительного покрытия и процесс фильтрации начинается снова. После достижения максимального перепада давления следующая линия очищается и т.д.

Используемый фильтрующий материал представляет собой комбинацию ПТФЭ и полиимида. Толщина волокнистой ткани составляет 1,6 мм, а пористость составляет 81%. Внутренняя температура фильтра, измеренная шестью симметрично расположенными платиновыми термометрами (Pt-100), находится в пределах 120–160 °C. Расход дымового газа составляет около 210 $\frac{м^3}{ч} \pm 5\%$. Полученное соотношение воздух-ткань составляет 139 $\frac{м^3}{м^2 ч}$.

Для испытания разработанного фильтра в реальных условиях в качестве источника выбросов использовался обычный пеллетный нагреватель с номинальной тепловой мощностью 15 кВт (производитель: OERTLI-ROHLEDER Wärmetechnik GmbH, тип: PL15). Как описано в [5], рабочий процесс нагревателя разделен на два уровня горения - высокий уровень и низкий уровень.

Высокий уровень означает более высокую подачу гранул и постоянный поток газа, приводящий к более высокой температуре (до 74 °C) во внутреннем теплообменнике. В этом случае результирующая концентрация кислорода в дымовых газах за нагревателем составляет 10-13%. При достижении предела температуры во внутреннем теплообменнике 74 °C рабочий процесс переключается на низкий уровень. На этом втором уровне в камеру сгорания загружается меньше гранул, а концентрация кислорода составляет 16-18%. Как только температура во внутреннем теплообменнике снизится до 68 °C, рабочий процесс снова переключится на высокий. Следовательно, температура дымовых газов колеблется в пределах 170-210 °C. Кроме того, другие концентрации частиц возникают на обоих уровнях горения. Период времени для одного цикла горения занимает 13-15 минут. Таким образом, в дальнейшем используются только средние значения за несколько циклов. На рис. 1 показан пример типичного гранулометрического состава частиц ультрадисперсной пыли сгорания. Как показано на этом рисунке, числовой модальный размер частиц составляет около 50 нм, и практически нет частиц размером более 200 нм. По этой причине измерения эффективности оценки были сделаны до 370 нм. Гравиметрические измерения показали, что средняя

концентрация мелкой пыли составляет около 40 $\frac{мг}{м^3}$ в дымовых газах.

Из-за большого количества проверенных комбинаций параметров, чтобы уменьшить экспериментальные усилия, большинство распределений частиц предпокрытия по размерам не были измерены при работе с нагревателем для гранул. Таким образом, нагреватель пеллет и фильтр были отсоединены, и к фильтру была прикреплена прозрачная трубка из ПММА с открытым входом.

С холодной испытательной установкой может быть проведено больше экспериментов за более короткое время по сравнению с горячей сборкой с нагревателем пеллет из-за длительного времени ожидания, зависящего от нагрева и охлаждения нагревателя.

Вся технологическая схема процесса показана на рис. 2 [5].

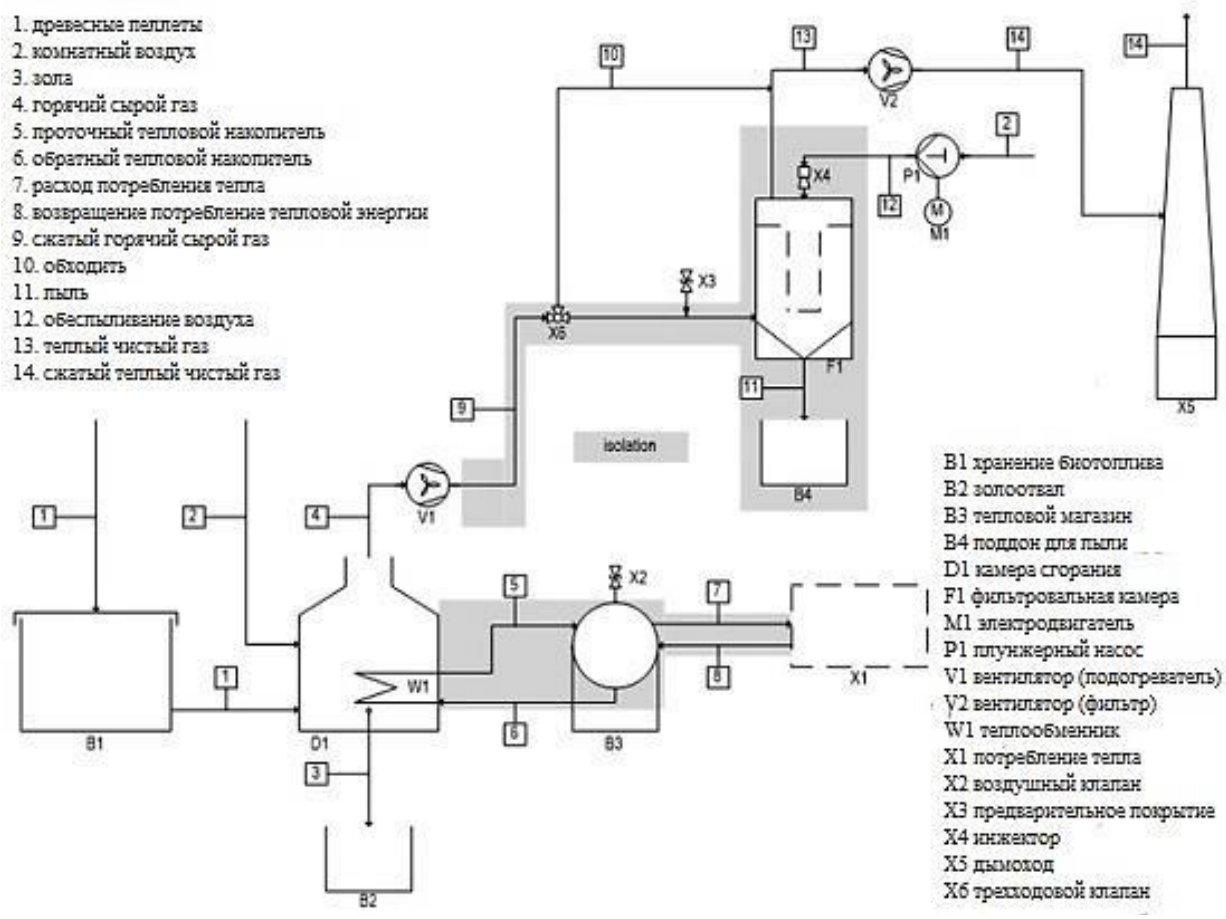


Рис. 1. Технологическая схема процесса

Процесс горения отходов ДСП всегда будет сопровождаться выделением опасного канцерогена. Поэтому с целью уменьшения выделения формальдегида и недостатков системы фильтров с фильтрацией необходимо, чтобы древесные отходы в виде опилок, мелкой щепы, стружки и коры «отлежались» в сухом, проветриваемом помещении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 27935-88 «Плиты древесноволокнистые и древесностружечные. Термины и определения».

2. *Розанов В. Н.* Формальдегид // Химическая энциклопедия: в 5 т / Зефиров Н. С. (гл. ред.). — М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. — Т. 5: Триптофан—Ятрохимия. — С. 115–116. — 783 с. — 10 000 экз. — ISBN 5-85270-310-9.

3. *Sascha Schiller, Hans-Joachim Schmid.* Highly efficient filtration of ultrafine dust in baghouse filters using precoat materials // Powder Technology 279 (2015) 96–105.

4. *W. Höflinger,* Habilitation Thesis, Technical University of Vienna, Vienna (in German),

1991.

5. *S. Schiller*, et al., Chem. Eng. Technol. 37 (6) (2014) 1009–1020.

DESIGN FEATURES OF THE AIR CLEANING FILTER FOR THE PROCESS OF THERMAL REUSE OF PELLETS MADE FROM CHIPBOARD WASTE

Ibragimova E.

2000-elvira@mail.ru

Student's Supervisor: E. Gogol, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

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

This paper describes chipboard waste from the point of view of danger to the environment and the possibility of their useful use as an alternative type of solid fuel. The author presents an example of cleaning flue gases emitted during the combustion of pellets, she describes the principle of the filtering system and she identifies the main components of the filter.

УДК 504.064.36

ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ НОВО-САВИНОВСКОГО РАЙОНА Г.КАЗАНИ

Ибрагимова Э.А.

2000-elvira@mail.ru

Научный руководитель: С.А. Мальцева, канд. хим. наук, доцент

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

В данной работе дана оценка выбросов загрязняющих веществ автомобильным транспортом в атмосферный воздух Ново-Савиновского района г. Казань. Представлена суммарная эмиссия потоков автотранспорта на контрольных участках автодороги. Особое внимание уделено повышенным значениям веществ.

Казань является крупным индустриальным центром Российской Федерации. В этом городе сконцентрированы основные промышленные предприятия. Поэтому развитие дорожной инфраструктуры и рост вклада передвижных источников загрязнения в общий уровень загрязненности приземного слоя атмосферного воздуха, вызывают необходимость изучения факторов и показателей автотранспортной эмиссии. Оценка выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, наряду с оценкой поступления загрязняющих веществ в гидросферу и отходов в окружающую среду необходима для обоснования мер инженерной защиты окружающей среды и обеспечения техногенной безопасности [1-6].

На базе анализа схемы улично-дорожной сети Ново-Савиновского района города, вдобавок предоставленной информации о транспортной нагрузке, был выделен участок с повышенной интенсивностью движения: автодорога по улице Сибгата Хакима (ул.Декабристов - ул.Нигматуллина). Длина участка составляет 2,69 км.

В выбранном для оценки автотранспортной эмиссии участке, неоднократно производился подсчет автомобилей в обоих направлениях дороги. Работа производилась в «часы-пик». Занимались места на определенных отрезках улицы: ул.Декабристов - ул.Абсалямова (контрольный участок 1), ул.Абсалямова - ул.Мусина (контрольный участок 2), ул.Мусина - ул.Бичурина (контрольный участок 3), ул.Бичурина - ул.Амирхана (контрольный участок 4), ул.Амирхана - ул. Нигматуллина (контрольный участок 5). Затем в течении 20 минут в полевой журнал обследования характеристик движущегося автотранспортного потока заносились данные о проезжающем транспорте. Определение концентраций загрязняющих веществ был осуществлен с использованием программы расчета рассеивания выбросов загрязняющих веществ - УПРЗА «Эколог», версия 4.50 [7-10].

Суммарный выброс загрязняющих веществ от автотранспорта по исследуемым автомагистралям на территории Ново-Савиновского района города представлен в таблице 1.

Таблица 1

Суммарный выброс загрязняющих веществ потока автотранспорта на контрольных участках

Контрольный участок	Количество автомобилей по двум направлениям	Общий выброс загрязняющих веществ от автотранспорта всех категорий, г/с						
		CO	NO_x	CH	Сажа	SO_2	Формальдегид	Бенз(а)пирен
1	1263	0,618929	0,362986	0,159211	0,078758	0,002728	0,000636	0,00000006
2	572	0,377073	0,413078	0,105991	0,077787	0,001723	0,000424	0,00000004
3	487	0,194972	0,19536	0,051079	0,016937	0,000865	0,000204	0,00000002
4	529	0,26063	0,25424	0,06701	0,02079	0,001143	0,000269	0,00000003
5	648	0,436057	0,213865	0,110046	0,036763	0,001908	0,000438	0,00000005

Согласно полученным результатам натурных обследований и расчетов загрязнения атмосферы на участке автодороги – ул.Сибгата Хакима (ул.Декабристов - ул.Нигматуллина) на август 2018 года, в соответствии с Гигиеническими нормативами ГН 2.1.6.3492-17, можно сделать следующие выводы. Оксид углерода (CO) присутствует в воздухе в сверхнормативной концентрации. Повышенные значения были зафиксированы на участках ул. Декабристов - ул.Абсалямова и ул.Амирхана - ул. Нигматуллина: 0,618929 г/с и 0,436057 г/с соответственно. Значение концентрации оксида азота так же превысило нормы ПДК на контрольных точках: ул.Декабристов - ул.Абсалямова, ул.Абсалямова - ул.Мусина, ул.Бичурина - ул.Амирхана (рис.1).

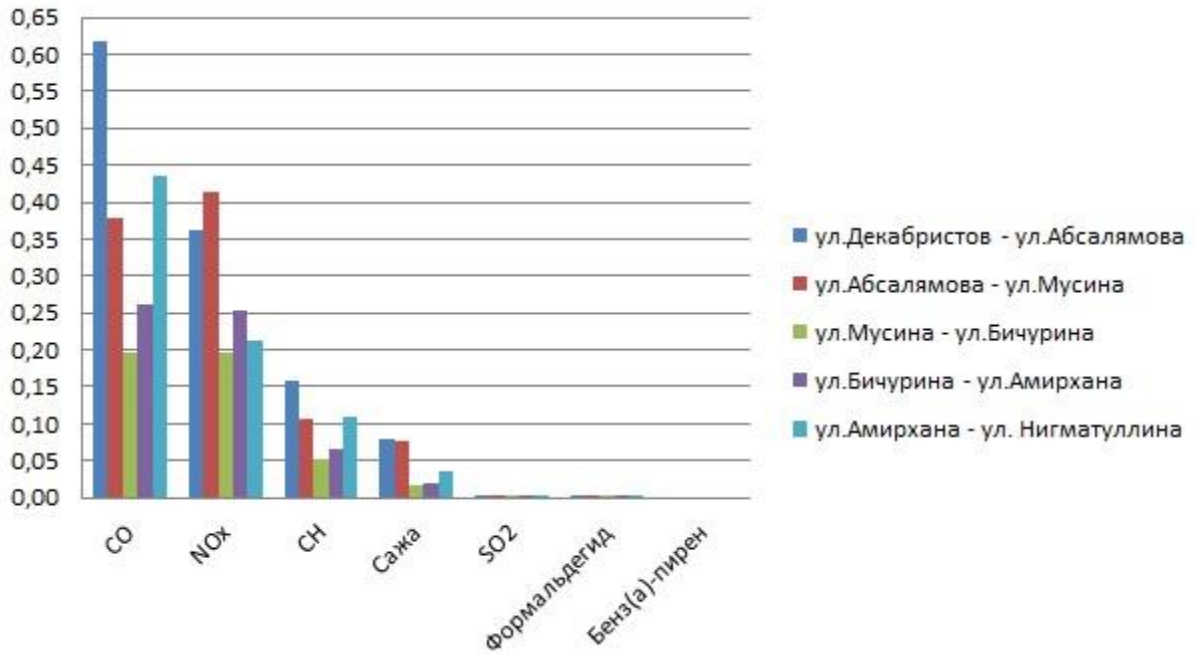


Рис. 1. Наглядная зависимость выбросов загрязняющих веществ в г/с

Таким образом, результаты проведенной оценки выбросов загрязняющих веществ показали, что нормы ПДК в Ново-Савиновском районе г.Казани превышены.

С целью снижения отрицательного воздействия продуктов сгорания автотранспорта рекомендуются провести следующие мероприятия на данном участке района: нормализовать дорожное движение способом исключения частых торможений и ускорения автомобилей, повысить эффективность распределения транспортных потоков, увеличить защитное озеленение, усилить контроль за движением автомобилей с устаревшими двигателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мингазетдинов И.Х., Мальцева С.А., Гоголь Э.В., Тунакова Ю.А.* Выбор и обоснование рациональной очистки сточных вод производств синтетических полимеров и пластических масс // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №14. С. 131-133.
2. *Кремлева Н.В., Буданов А.Р., Мальцева С.А., Тунакова Ю.А.* Стабилизатор полиолефинов фенолят никеля как вторичное сырье, получаемое при очистке гальванических стоков сернисто-щелочным отходом производства моторных масел // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т.18. №3. С. 101-103.
3. *Мингазетдинов И.Х., Григорьева И.Г., Мальцева С.А., Тунакова Ю.А.* Проектирование рациональной системы вентиляции для очистки воздуха производственных помещений от полимерной пыли // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.1. №5. С. 194-197.
4. *Кулаков А.А., Мальцева С.А.* К вопросу о механизме осаждения ионов меди (II) в процессе гальванокоагуляционной очистки медьсодержащих сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т.19. №21. С. 17–21.
5. *Гоголь Э.В., Мингазетдинов И.Х., Гумерова Г.И., Егорова О.С., Мальцева С.А., Григорьева И.Г., Тунакова Ю.А.* Анализ существующих способов утилизации и переработки отходов полимеров// Вестник Казанского технологического университета. 2013. №10. С. 163-169.
6. *Гоголь Э.В., Мингазетдинов И.Х., Гумерова Г.И., Егорова О.С., Мальцева С.А., Григорьева И.Г., Тунакова Ю.А.* // Устройство для измельчения отходов // Вестник Казанского технологического университета. №10/2013, с.223-226.
7. *Шагидуллина Р.А., Тунакова Ю.А., Григорьева И.Г., Валиев В.С.* Способ прогноза концентраций примесей в приземном слое атмосферного воздуха сб. трудов Шестого международного экологического конгресса (Восьмой международной научно-технической конференции), "Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов" ELPIT 2017, 20-24 сентября 2017 г. С. 180-183.
8. *Зубкова А. Д., Степанова Н. Ю.* Мониторинг атмосферного воздуха города Казани в период максимальной транспортной нагрузки // Молодой ученый. — 2016. — №22. — С. 124-126. — URL: https://moluch.ru/archive/126/35030/ (дата обращения: 18.05.2019).
9. *Шамсияров Н.Н., Галиуллин А.Н., Тимерзянов М.И., Тафеева Е.А.* Природно-климатические условия и состояние атмосферного воздуха в городе Казани // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5.- URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=15182 .
10. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ содержащихся в выбросах предприятий. ОНД 86, ГОСКОМГИДРОМЕТ, 1997 – 78 с.

ASSESSMENT OF EMISSIONS OF POLLUTING SUBSTANCES BY MOTOR TRANSPORT INTO ATMOSPHERIC AIR OF THE NOVO-SAVINOVSKY DISTRICT OF KAZAN

Ibragimova E.

2000-elvira@mail.ru

Student's Supervisor: S. Maltseva, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

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

In this work the estimation of emissions of pollutants by road transport in the air of Novo-Savinovsky district of Kazan is given. The total emission of traffic flows on the control sections of the road is presented. Special attention is paid to the increased values of substances.

УДК 628.543

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СБРОСА ЖИДКИХ ВЫСОКОТОКСИЧНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Колесников А.В., Давыдкова Т.В., Федулов М.А.
tdavydkova@muctr.ru
(Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва)

В ходе выполнения работы разработаны высокоэффективные технологические решения, позволяющие производить очистку сточных вод сложного состава от тяжёлых и цветных металлов, а также органических компонентов до современных требований. Предложена комбинированная схема утилизации жидких техногенных отходов, которая позволяет исключить сброс минерализованных сточных вод, и обеспечить возврат в технологический оборот до 95% сточных вод.

Введение

В рамках выполнения Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы» реализуемой Министерством науки и высшего образования, РХТУ им. Д.И. Менделеева разрабатываются технологические решения для предотвращения сброса жидких высокотоксичных техногенных отходов на предприятиях химико-металлургического профиля.

Экспериментальная часть

Так, например, в рамках договора РХТУ им. Д.И. Менделеева с одним из московских предприятий авиационной промышленности, проведен технический аудит технологических процессов и даны рекомендации по оптимизации очистных сооружений - станции нейтрализации гальванических стоков.

Организационная структура предприятия представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Источники образования сточных вод

В зависимости от применяемых операций в сточные воды могут попадать растворители, красители, поверхностно-активные вещества (ПАВ) и моющие составы, масла, смазки, композиции. Наиболее часто встречающимися минеральными веществами являются кислоты, щёлочи, соли: сульфаты, хлориды, нитриты, фосфаты, карбонаты; ионы тяжёлых и цветных металлов: Cu, Sn, Pb, Bi, Cr, Ni, Cd; Для получения покрытий требуемого качества широко применяются комплексообразователи на основе аммиака, винной, уксусной и других

органических кислот, а также другие комплексные соединения. В последнее время существенно увеличивается количество технологических стадий где применяются органические компоненты, как индивидуально, так и в составе смесей или композиций. [1-4].

Анализ ряда промышленных предприятий химико-металлургического показал следующие типичные проблемы:

- Существующая схема очистки сточных вод и применяемое оборудование не всегда не обеспечивает очистку сточных вод по ряду компонентов до установленных современных норм предельно-допустимых концентраций (ПДК);
- Как правило отсутствуют системы автоматического регулирования и контроля параметров очистки (кислотность среды, окислительно-восстановительный потенциал, химическое потребление кислорода);
- Кислотность очищаемой воды не всегда обеспечивает необходимое снижение концентрации ионов тяжёлых и цветных металлов;
- Отсутствуют эффективные системы очистки сточных вод от органических загрязнений;
- Не регулярно удаляется осадок из отстойников (гидроксиды металлов), что приводит к снижению эффективности его работы из-за вымывания осадка и «проскока» в том числе органических компонентов;
- Отсутствуют системы по утилизации отработанных технологических растворов и электролитов.

Для решения описанной проблемы предлагается комбинированная схема утилизации жидких техногенных отходов, состоящая из блока очистки до ПДК (предварительной очистки) и блока замкнутого водооборота (обессоливания и утилизации концентратов), представленная на рисунке 2. Назначение основных элементов представлено в таблице 1.

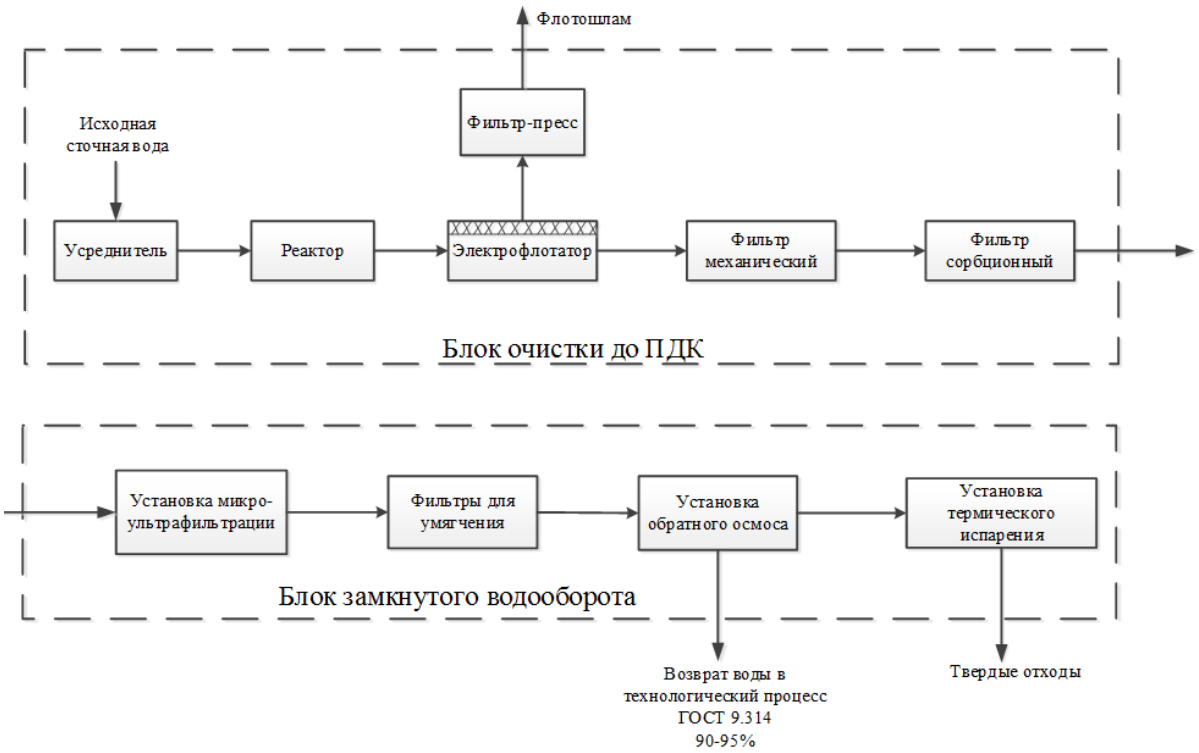


Рис. 2. Предлагаемая комбинированная схема утилизации жидких техногенных отходов предприятия

Назначение основных элементов представлено в таблице 1.

Таблица 1

Назначение основных элементов

Наименование	Назначение
Блок очистки до ПДК	
Приемная емкость	Усреднение промывных вод
Реактор	Обработка сточных вод
Электрофлотатор	Очистка сточных вод от дисперсных веществ (осветление сточной воды)
Фильтр-пресс	Обезвоживание шлама
Комплекс насыпных механических фильтров	Тонкая очистка воды (20-50 мкм) от взвешенных веществ и коллоидных частиц
Комплекс насыпных сорбционных фильтров	Очистка воды от растворимых веществ органической природы.
Установка приготовления и дозирования реагентов	Приготовление растворов химических реагентов
Насосы	Перекачивание сточной воды
Насос-дозаторы	Дозирование растворов
Блок замкнутого водооборота	
Установка микро-ультрафильтрации	Удаление коллоидных систем, взвешенных веществ и обеспечение микробиологической очистки воды
Установка обратного осмоса	Обессоливание воды (на выходе чистая вода с крайне низким содержанием солей)
Фильтры для умягчения (установка ионного обмена)	Исключение осаждения на поверхности мембран солей жесткости
Установка термического испарения	Сокращение сброса солевого концентрата

При реализации комбинированного подхода исключается сброс минерализованных сточных вод, и обеспечивается возврат в технологический оборот до 95% сточных вод, очищенных до уровня показателей ГОСТ 9.314 (1 кат.), что позволяет существенно сократить затраты на водоснабжение предприятия. В ходе выполнения работы разработан ресурсосберегающий вариант работы всех базовых элементов.

Выводы

В ходе выполнения работы разработаны высокоэффективные технологические решения, позволяющие производить очистку сточных вод сложного состава от тяжёлых и цветных металлов, а также органических компонентов до современных требований.

Практическое внедрение разрабатываемых технических решений внесёт достойный вклад в реализацию национального проекта «Экология», утвержденного президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам протоколом от 24 декабря 2018 г. № 16;

Создаваемые решения соответствуют приоритетным направлениям научно-технологического развития государства, сформулированным в «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», утвержденной Указом Президентом РФ №642 от 01 декабря 2016 г. в части «…д) противодействие техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства; …»

Реализуемый комплексный подход будет способствовать решению проблем «Больших Вызовов»: в части «…в – возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду…»

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Соглашения № 14.583.21.0068 от 22.11. 2017 г. Уникальный идентификатор RFMEFI58317X0068.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Виноградов С.С.* Экологически безопасное гальваническое производство // М.: Глобус. 2002. С.352.

2. *Колесников В.А., Меньшутина Н. В., Десятов А. В.* Оборудование, технологии и проектирование систем очистки сточных вод // М.: ДеЛи плюс. 2016. С.289.

3. *В. А. Колесников, В. И. Ильин, В. А. Бродский, А. В. Колесников*. Электрофлотация в процессах водоочистки и извлечения ценных компонентов из жидких техногенных отходов (ЧАСТЬ I). // Теоретические основы химической технологии // 2017. Т.4, №51. С.361-375.

4. *Колесников В.А., Губин А.Ф., Колесникова О.Ю., Перфильева А.В.* Повышение эффективности электрофлотационной очистки сточных вод производства печатных плат от ионов меди в присутствии комплексообразователей поверхностно-активных веществ и флокулянтов // Журнал прикладной химии. 2017. Т.90. №5. С.598-603.

DEVELOPMENT TECHNOLOGICAL WORK FOR WARNING FREE HIGH-TOXIC TECH WORKS ON THE CHEMICAL-METALY-METALY PROFILE

Kolesnikov A., Davydkova T., Fedulov M.

tdavydkova@muctr.ru

(D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow)

In the course of the work, highly effective technological solutions have been developed, allowing the treatment of wastewater of complex composition from heavy and non-ferrous metals, as well as organic components to modern requirements. A combined scheme for the disposal of liquid man-made waste, which allows to exclude the discharge of mineralized wastewater, and to ensure the return to technological circulation of up to 95% of wastewater.

УДК 631.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТХОДОВ СВИНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Кононова Р.В.

roza_1996@mail.ru

Научный руководитель: Э. В. Гоголь, канд. хим. наук, доцент

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

Представлен компонентный состав навоза свиней и на основании патентного исследования построена двумерная матрица с целью определения уровня и тенденции развития исследуемой темы.

Свежий навоз никогда не вноситься сразу в почву, так как на начальном этапе разложения он выделяет большое количество газов, что негативно влияет на рост и развитие растений. Также свежий навоз может содержать сорные растения. Из-за повышенного содержания органики в сыром навозе N и P будут не доступны для растений. Поэтому лучше всего в качестве удобрения применять только тот навоз, который прошел первые стадии разложения [1].

В зависимости от степени перегнивания навоз делят на: - свежий; - полуперепревший; - полностью перепревший; - перегной [2]. Полуперепревший навоз – это наполовину отлежавший и обезвоженный навоз в виде темной массы. Его необходимо вводить в почву осенью [3]. Перепревший навоз это рассыпчатая масса черного цвета, где нет разделения на фекалии и подстилку. В этом случае N и P доступны для растений. Что бы получить полностью перепревший навоз нужно пройти стадии распада навоза. Это происходит за счет складирования навоза в навозохранилищах, при этом уплотняя слои торфом. Торф помогает сохранять азот в перепревшем навозе, он впитывает его в себя. Таким образом, навозная куча будет имеет слои из навоза и торфа, перепревание будет продолжаться 3-6 месяцев в зависимости от погодных условий. Используя фосфорную муку можно добиться повышения

содержание фосфора в навозе. Высушивание позволит увеличить концентрацию питательных веществ в навозе, поэтому тем суше навоз, тем больше в нем питательных веществ. Перегной является заключительным этапом распада навоза. Он продолжается от одного до трех лет, перегной может содержит перегнившую листву, траву, солому и т.п. Перегной добавляют в землю весной для улучшения структуры почвы и обогащения питательными элементами [3].

Свежий и перепревший навоз свиней входит в федеральный классификационный каталог отходов [4] (ФККО): 11251001333 - навоз свиней свежий и 11251002294 – навоз свиней перепревший. Так как данные виды отходов имеют III и IV классы опасности, соответственно возникает необходимость организации, занимающаяся свиноводством, в разработке паспортов на опасные отходы. Ниже в таблице 1 представлен компонентный состав данных отходов.

Таблица 1

Компонентный состав отходов

Наименование	Код по ФККО	Агрегатное состояние	Состав отходов по компонентам	
			Наименование	Содержание, %
навоз свиней свежий	11251001333	Твердое в жидком (паста)	вода орган.вещ-во азот общий азот аммиачный фосфор калий кальций магний сера хлор	73 25 0,49 0,2 0,19 0,6 0,18 0,09 0,08 0,17
навоз свиней перепревший	11251002294	Твердое	вода органика азот фосфор калий кальций магний сера хлор	65,95 12,5 1,01 10,14 6,32 3,4 0,18 0,16 0,34

После проведения патентного исследования [5] и на основе изучения и анализа патентных документов, с целью определения уровня и тенденции развития исследуемой темы была построена двухмерная матрица «Технический результат - средство достижения технического результата», представленная в таблице 2.

Таблица 2

Технический результат — средство достижения технического результата

Средство достижения технического результата	Технический результат изобретения		
	Интенсификация процесса переработки отходов	Экономия затрат на переработку отходов	Повышение эффективности и мобильности процесса переработки отходов
Применение вертикальной цилиндрической емкости с аэрирующим узлом	Патент РФ № 2646873 06.02.2017 Голубенко Михаил Иванович (Голубенко Михаил Иванович)	-	-
Переработка в специальном мобильном	-	-	Патент РФ № 2629589 04.05.2016 Федеральное государственное

устройстве с увлажнением водой и заселением полученного вермикомпоста дождевыми компостными червями			бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (ФГБОУ ВО СПГУ) (Трушко Ольга Владимировна, Ковшов Станислав Вячеславович, Ковшов Вячеслав Петрович)
Встраивание процесса биоферментации в технологии содержания птицы и животных	-	Патент РФ № 2612208 01.02.2016 Осипов Георгий Александрович, Аминов Айрат Хабибуллович (Осипов Георгий Александрович, Аминов Айрат Хабибуллович)	-
Добавление фосфогипса с pH 3,0-3,5 в емкость для хранения навоза	-	Патент РФ № 2477263 07.07.2011 Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный аграрный университет" (Белюченко Иван Степанович, Мельник Ольга Александровна, Новопольцева Людмила Степановна, Ткаченко Людмила Николаевна)	-
Обработка отходов животных культурой бактерий рода Bacillus	-	-	Патент РФ № 2491264 29.09.2011 Общество с ограниченной ответственностью "БИОТРОФ" (Солдатова Валентина Васильевна, Большаков Владислав Николаевич, Прокопьева Валентина Ивановна, Грудинина Татьяна Николаевна, Никонов Илья Николаевич, Новикова Наталья Ивановна, Лаптев Георгий Юрьевич)

Согласно таблице уровень совершенствования способов переработки отходов свиноводства для получения удобрений характеризуется: - интенсификацией процесса переработки отходов за счет применения вертикальной цилиндрической емкости с аэрирующим узлом; - экономия затрат на переработку отходов за счет встраивания процесса биоферментации в технологии содержания птицы и животных, также за счет добавления фосфогипса в емкость для хранения навоза; -повышение эффективности и мобильности процесса переработки отходов, вследствие переработки в специальном мобильном устройстве с увлажнением водой и заселением полученного вермикомпоста дождевыми

компостными червями и обработки отходов животных культурой бактериями рода Bacillus [5].

Проблема утилизации отходов свиноводства является достроченно актуальным, соответственно происходит постепенное увеличение патентный публикаций и повышается научный интерес к данной теме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Миронов С.Ю., Протасова М.В., Проценко Е.П., Балабина Н. А., Лукьянчикова О.В.* Технологические направления по переработке органических отходов / Миронов С.Ю., Протасова М.В., Проценко Е.П., Балабина Н. А., Лукьянчикова О.В.// AUDITORIUM: журнал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курский государственный университет». – Курск, 2017. – 13 с.

2. *Васильев, В.А., Шершнев, А.А., Резваткина, Т.Г., Андрюхин, Т.Я., Гриднев П.И., Ковалев А.А.* Влияние метанового сбраживании бесподстилочного навоза на изменение химического состава и эффективности его как удобрения. Агрохимия, №9, 2002 г.

3. Внесение навоза в землю. [Электронный ресурс]. Режим доступа: Источник: https://znaytovar.ru/s/Vnesenie-navoza-v-zemlyu.html

4. Федеральный классификационный каталог отходов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: Источник: https://classinform.ru/fkko-2017.html

5. Федеральный институт промышленной собственности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: Источник: http://new.fips.ru/

INVESTIGATION OF WASTE PIG COMPLEX

Kononova R.

roza_1996@mail.ru

Student's Supervisor: E. Gogol, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

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

A component composition of pig manure is presented, and a two-dimensional matrix is constructed on the basis of a patent study to determine the level and development trend of the topic under study.

УДК 631.8

СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ СВИНОВОДСТВА В БИОГАЗ И УДОБРЕНИЕ

Кононова Р.В.

roza_1996@mail.ru

Научный руководитель: Э. В. Гоголь, канд. хим. наук, доцент

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

Представлены существующие способы и методы переработки отходов свиноводческого комплекса для получения биогаза и высококачественных удобрений. Дана кратная характеристика данных методов переработки.

Субстрат, поступающий в биогазовую установку [1], является многофазовой коллоидно-полидисперсной средой, куда входят твердые и жидкие отходы от животных, остатки корма, вода и т.д. Обычно из 1 кг сухого вещества образуется около 600 литров биогаза. Для того чтобы рассчитать выход биогаза нужно сделать лабораторные анализы или подсчитать количество жиров, белков и углеводов. Эффективность анаэробного сбраживания зависит от состава субстрата. Сухое вещество состоит из органических и неорганических частей, данное вещество включает в себя такие вещества как: жиры, белки, углеводы, целлюлоза, лигнин,

также присутствует соединения меди, кальция, цинка, магния. Органика в отходах животноводства включает 60-75% N_2, которая хорошо усваивается в растениях. Все соединения могут находиться в растворенном, коллоидном и в стойком состоянии также могут, переходит из одного состояния в другое. Все органические материалы используются в качестве растительных удобрений и заменяют минеральные.

Для получения энергии от переработки отходов свинокомплекса в настоящее время используют, такие способы: - анаэробное сбраживание; - компостирование; - термохимическая обработка [2].

Анаэробному сбраживанию подвергаются все органические вещества, которые имеются в навозе. Они полностью или частично обеззараживаются. Энергия, которая образовалась в процессе анаэробного сбраживания удобна для использования, так как ее можно преобразовать в тепловую, электрическую и механическую. Шлам, образовавшийся в процессе переработки отходов, не имеет запаха и также готов к использованию и внесению в почву.

В процессе получения метана участвуют три группы бактерий. Первая группа бактерий переводят сложные органические вещества в пропионовую, масляную и молочную кислоту. Вторая группа превращает, полученные на первом этапе, органические кислоты в уксусную кислоту, H_2, CO_2, третьи бактерии – метанообразующие способны восстановить CO_2 в метан при этом поглощая H_2. Для всех бактерий третьей группы характерна способность к росту за счет присутствия H_2 и CO_2, также метанообразующие бактерии очень чувствительны к O_2 и ингибиторам производства метана.

Время переработки отхода зависит от типа сырья, например при мезофильном режиме для жидкого свиного навоза время, при котором наблюдается наибольший выход биогаза считается 9-12 дней, жидкий навоз крупного рогатого скота наибольший выход биогаза в течении 10-15 дней, навоз, который включает в себе растительные отходы - 40-80 дней [3].

От соотношения C:H:O:N зависит количество и состав газа, которое образуется при разложении веществ, жиры позволяют получить высокий выход газа с высоким содержанием метана, белки в меньшей степени, но с достаточным количеством метана, углеводы – выход газа с меньшим газа и метана [4]. В таблице 1 приведены значения выхода газа и продолжительность сбраживания при температуре 30 °С.

Таблица 1

Выход газа и время сбраживания при Т = 30 °С

Сырье на сбраживание	Выход газа ($см^3$/г), отнесенный		Время сбраживания, сут	Содержание метана	Выход газа в % от общего количества по истечении времени сбраживания (сут.)		
	к исх. массе	к массе сух. орг. вещ.			10	15	20
Отходы КРС	237	315	117	80	24	36	48
Свиной навоз	257	415	115	81	40	57	68
Солома с длиной резки 30 мм	357	383	123	80	29	38	45
Картофельная ботва	526	606	53	75	85	90	92
Ботва сахарной свеклы	456	501	14	85	99	100	100
Трава	490	557	24	84	87	96	99

При компостировании происходит разрушение органического субстрата в аэробных условиях при высоких температурах и влажности. При разложении органическое вещество подвергается физическому и химическому превращению с образованием конечного продукта. Компостирование включает в себя этап биодеструкции и гумусообразования, а также 4 стадии (1 стадия – мезофильная, 2 стадия – термофильная, 3 – структурирование, 4 –

созревание), продолжительность 1,2,3 фаз несколько суток и недель, а 4 фаза продолжительностью до нескольких месяцев. На стадии созревании уменьшаются питательные вещества, и происходит смена микрофлоры, которая приведет к растворению микробной клетки и возникновению почвенных животных. Результатом данного этапа является стабилизация органических веществ. Параметрами стабильности является внешний вид (обычно темный цвет компоста), запах, завершение падения Т °С, степени самонагревания, повышение ОВ потенциала, рост нитевидных грибов.

При полевом компостировании на отрытых площадках приготовление компостов проводят при Т= - 5°С. Важно учитывать залегание грунтовых вод, санитарную зону и др. Для того чтобы ускорить компостирование в смесь добавляют специализированные биологические добавки. Такие ферменты могут включать ферменты, микроорганизмы, биополимеры и др. Сокращение времени компостирования можно и при орошении компоста водным экстрактом из готового компоста в соотношении 1:100. В буртах компостирование происходит в течении 10 – 20 суток, при добавлении стартовых культур срок компостирование сокращается до 4-13 суток.

Компостирование происходит в специализированных установках, например, в биореаторах, ферментационных барабанах, биотуннелях и силосах [5].

Один из эффективных способов получения энергии является термохимическая газификация. Данный способ основан на превращении биомассы в газ при высоких температурах (до 1500 °С), характеризуется повышенным энергопотенциалом, в специальных газогенераторах без доступа кислорода. Это возможно, так как в навозе, растительных остатках имеется большое количество солнечной энергии, поэтому его рассматривают как возобновляемый источник энергии.

В отличие от анаэробной деструкции термохимическая газификация производит больше энергии из сырья, чем анаэробное. Например, из 1 т свиного навоза при газификации образуется 450 кВтч энергии, а при анаэробной деструкции только 250 кВтч биогаза. Из 1 тонны растительного сырья можно получить до 2600 м3 газа. За счет высокой температуры в смесях отсутствует какие-либо токсические примеси [6].

Полученный газ можно использовать как котельное топливо или моторное для газопоршневых устройств, в котором происходит сжигание газа для получения тепло- и электроэнергии. Кроме того он применяется в качестве сырья для получения дизельного топлива. При термохимической газификации навоза образуется зола, которая представляет собой ценный продукт для удобрения почв.

Для качественного и эффективного процесса переработки отходов свиноводства необходимо специальные приборы, устройства или биоэнергетические установки [6]. Например, биогазовые установки без подвода тепла и без перемешивания биомассы; - без подачи тепла, но с перемешиванием; - с подачей тепла и перемешиванием; - с подачей тепла, с перемешиванием и со средствами контроля и управления и т.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Биоэнергетические установки. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://gisee.ru/articles/technologies_sub/832/

2. *Миронов С.Ю., Протасова М.В., Проценко Е.П., Балабина Н. А., Лукьянчикова О.В.* Технологические направления по переработке органических отходов / Миронов С.Ю., Протасова М.В., Проценко Е.П., Балабина Н. А., Лукьянчикова О.В.// AUDITORIUM: журнал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курский государственный университет». – Курск, 2017. – 13 с.

3. *Мавлюдова Л.Н.* Разработка технологических решений по утилизации отходов животноводства с получением полезной энергии и удобрений: магистр-я дис. Тольяттинский государственный университет. – Тольятти, 2017. – 124 с.

4. *Курбанова М.Г., Позднякова О.Г.* Биотехнологические факторы анаэробной переработки отходов животноводческих хозяйств/ Курбанова М.Г., Позднякова О.Г.//

Вестник Красноярского государственного аграрного университета: научный журнал Красноярского государственного аграрного университета. – Красноярск, 2015. – С. 173-178.

5. *Миронов С.Ю., Протасова М.В., Проценко Е.П., Балабина Н. А., Лукьянчикова О.В.* Технологические направления по переработке органических отходов / Миронов С.Ю., Протасова М.В., Проценко Е.П., Балабина Н. А., Лукьянчикова О.В.// AUDITORIUM: журнал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курский государственный университет». – Курск, 2017. – 13 с.

6. Переработка навоза и помета методом анаэробного сбраживания с производством биоудобрений и энергии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docplayer.ru/46687469-Soderzhanie-pererabotka-navoza-i-pometa-metodom-anaerobnogo-sbrazhivaniya-s-proizvodstvom-bioudobreniy-i-energii-sposoby-anaerobnogo-sbrazhivaniya.html

METHODS FOR PROCESSING PIG WASTE INTO BIOGAS AND FERTILIZER

Kononova R.

roza_1996@mail.ru

Student's Supervisor: E. Gogol, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

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

The existing methods of processing waste pig complex for biogas and high-quality fertilizers. A multiple characteristic of these processing methods is given.

УДК: 664, 628.31

БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА КАК ЭЛЕМЕНТ ЗАЩИТЫ ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ОТ ТЕХНОГЕННЫХ ОПАСНОСТЕЙ

Линева О.С.

kapusta11w@mail.ru

Научный руководитель: С.А. Мальцева, канд. хим. наук, доцент

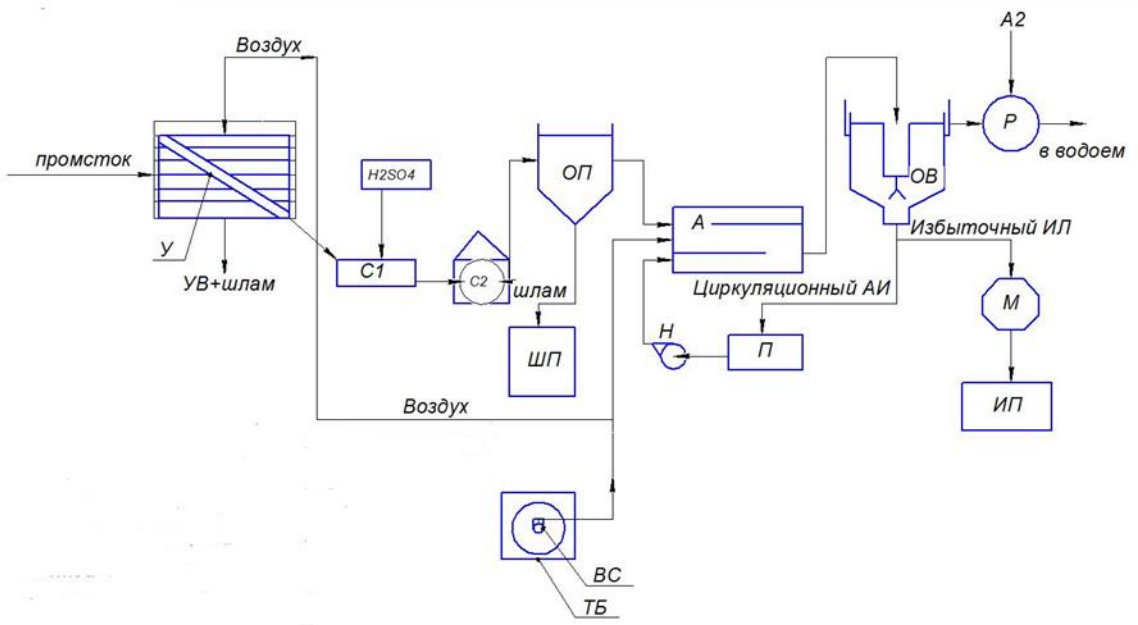
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Обеспечение техногенной безопасности химического предприятия важная задача, наряду с инженерной защитой гидросферы и атмосферы [1-4] и инженерной защитой, направленной на предотвращение загрязнения окружающей среды отходами.

Объектом исследования является сточная вода химического предприятия. На основании изучения научно-технической литературы в области обеспечения экологической безопасности обоснован выбор биохимический метод очистки сточных вод и предложена технологическая схема, которая включает механическую и биологическую очистку.

Промышленный сток поступает в усреднитель, после которого идет в смеситель-нейтрализатор. Затем сток переходит на станцию приема и перекачки. Далее сточная вода переходит в первичный вертикальный отстойник, где происходит процесс отстаивания. Выделившийся шлам после отстойника уходит на шламовые площадки. После извлечения из сточных вод загрязнений, АИ с накопленными в нем загрязнениями отделяется от очищенной воды и переходит в специальное аэрационное сооружение, которое называется регенератором. Также из воздуходувной станции и турбовоздуходувки поступает кислород в аэротенк. Затем сточные воды переходят в следующий этап очистки – вторичный вертикальный отстойник. Вода подается через центральную трубу и путем отстаивания АИ отделяется от очищенной воды. Из отстойника циркуляционный ил возвращается в аэротенк, избыточный ил поступает в метантенк. Сброженный осадок высушивается и его можно

использовать в технологии изготовления удобрений для почвы и кормов для животных.



У - усреднитель, С1 - смеситель-нейтрализатор, С2 - станция приема и перекачки,
ОП - первичный вертикальный отстойник, ШП - шламовая площадка, А - аэротенк-вытеснитель
с регенератором, ОВ - вторичный вертикальный отстойник, Р - контактный резервуар, М – метантенк,
ИП - иловая площадка, П - приемная камера циркуляционного АИ, Н - центробежный насос
для перекачки циркуляционного АИ, ВС - воздуходувная станция, ТВ – турбовоздуходувка
Рис. 1. Технологическая схема очистки производственных СВ

Для того чтобы узнать какие вещества и в каком количестве они находятся в сточных водах используется специальное устройство – газовый хроматограф. Это недорогое и малогабаритное устройство, для того чтобы видеть, что находится в составе сточных вод. С его помощью можно добиться эффективного и высокоточного разделения однородной смеси. Существует несколько видов хроматографии. Выбор зависит от природы взаимодействия. Основными являются: адсорбционная, распределительная, ионообменная, эксклюзионная (молекулярно-ситовая) и осадочная. В данном случае используется распределительная хроматография.

Хроматограф работает следующим образом. Проба анализируемой газовой смеси с помощью дозатора циклично вводится в нагреватель-испаритель, где перемешивается с инертным газом-носителем. Газ-носитель, идущий из источника должен быть инертным по отношению ко всем анализируемым веществам и материалам конструкции, с которым возможен его контакт при работе хроматографа. Регулятор и измеритель обеспечивают постоянный расход газа-носителя.

Анализируемая проба направляется в хроматографическую колонку, где происходит процесс разделения смеси на отдельные друг от друга компоненты. Конструктивно колонка представляет собой металлическую или стеклянную трубку с внутренним диаметром 2-5 мм, заполненную твердым сорбентом. Длина хроматографической колонки многократно превышает ее диаметр: отношение длины к диаметру обычно более 1000. Для компактности колонка выполняется в виде спирали или в виде U-образных секций. Сорбенты, используемые в хроматографических колонках, должны иметь максимально возможную поглотительную способность в отношении анализируемых веществ и быть инертными по отношению к этим веществам. Важными параметрами при выборе сорбентов являются также их прочность и долговечность. После разделения анализируемой смеси отдельные компоненты в определенной последовательности поступают на детектор - устройство, преобразующее изменение состава подвижной фазы в электрический сигнал. Результаты детектирования поступают на регистрирующий прибор.

В результате работы с хроматографом мы можем определить кривую, которая называется хроматограмма. Для качественного анализа в хроматографии измеряют время от момента ввода пробы до выхода каждого из любых присутствующих компонентов из колонки при данной температуре и при задействовании определенной подвижной фазы. Любое вещество при одинаковых хроматографических условиях имеет свое *время удерживания*. Это время является основой распознавания компонентов разделяемой смеси по временам удерживания при строгом соблюдении постоянных условий эксперимента: состава и расхода элюента, эксплуатирование одной и той же колонки, наименьшие колебания температуры окружающей среды.

Для количественного анализа необходимо найти высоты или площади хроматографических пиков - участки хроматограммы, соответствующие площади ограничительной функции хроматограммы в момент выхода вещества, которые определяют из колонки и базовой линией).

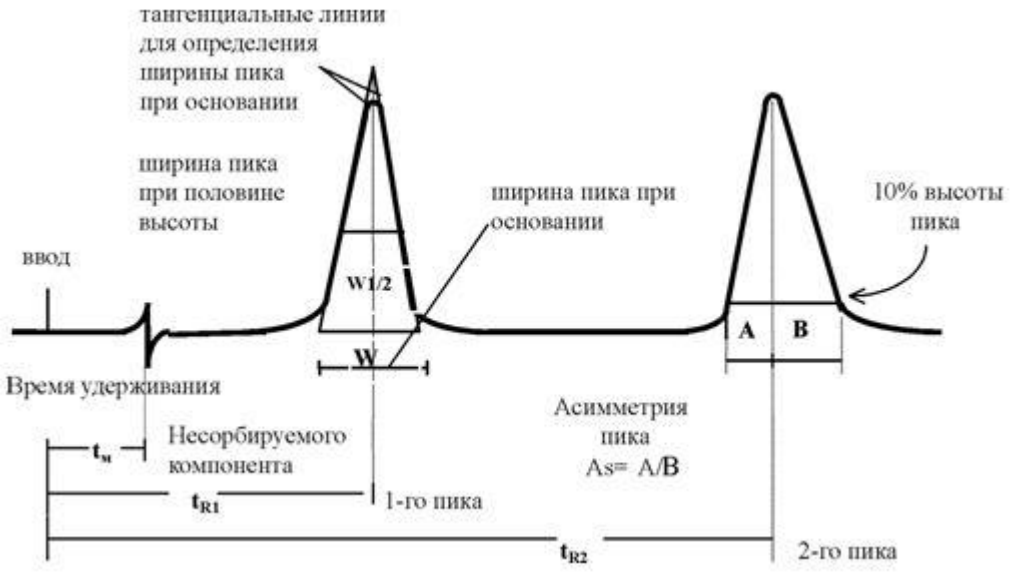


Рис. 1. Хроматограмма

Ширина пика АВ – расстояние между точками пика на половине высоты (или на любой другой отметке по высоте).

Время удерживания $t_м$– качественная характеристика каждого компонента (измеряется от момента введения пробы до момента выхода максимума пика).

Проанализированная смесь сбрасывается в специализированную линию сброса продуктов. Так как температура довольно сложным образом влияет на процессы сорбции - десорбциии детектирования, то нагреватель-испаритель, колонка и детектор термостатируются с помощью термостата [5 - 6].

Хроматография широко применяется в физико-химических исследованиях: для определения физико-химических свойств адсорбентов, для определения термодинамических характеристик адсорбции, теплоты адсорбции, поверхности твердого тела и термодинамических свойств растворов-констант равновесия, изотерм распределения, коэффициентов активности и др.

Следует отметить, что она также непрерывно развивается и совершенствуется. Расширяются и границы применимости в различных областях науки и техники. В химии и нефтехимии - это анализ нефти и продуктов ее переработки; анализ бензина, воска и продуктов их окисления; анализ растворителей-спиртов, кетонов, смесей углеводородов; изучение состава природных продуктов. Благодаря проведенным анализам специалисты могут делать максимально точные выводы о качестве поступающей и выходящей воды очистных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мингазетдинов И.Х., Мальцева С.А., Гоголь Э.В., Тунакова Ю.А.* Выбор и обоснование рациональной очистки сточных вод производств синтетических полимеров и пластических масс // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №14. С. 131-133.

2. *Кремлева Н.В., Буданов А.Р., Мальцева С.А., Тунакова Ю.А.* Стабилизатор полиолефинов фенолят никеля как вторичное сырье, получаемое при очистке гальванических стоков сернисто-щелочным отходом производства моторных масел // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т.18. №3. С. 101-103.

3. *Мингазетдинов И.Х., Григорьева И.Г., Мальцева С.А., Тунакова Ю.А.* Проектирование рациональной системы вентиляции для очистки воздуха производственных помещений от полимерной пыли // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.1. №5. С. 194-197.

4. *Кулаков А.А., Мальцева С.А.* К вопросу о механизме осаждения ионов меди (II) в процессе гальванокоагуляционной очистки медьсодержащих сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т.19. №21. С. 17–21.

5. *Гоголь Э.В., Мингазетдинов И.Х., Гумерова Г.И., Егорова О.С., Мальцева С.А., Григорьева И.Г., Тунакова Ю.А.* Анализ существующих способов утилизации и переработки отходов полимеров// Вестник Казанского технологического университета. 2013. №10. С. 163-169.

6. *Гоголь Э.В., Мингазетдинов И.Х., Гумерова Г.И., Егорова О.С., Мальцева С.А., Григорьева И.Г., Тунакова Ю.А.* // Устройство для измельчения отходов // Вестник Казанского технологического университета. №10/2013, с.223-226.

7. *Каратаева Е.С.* Теоретические основы газовой хроматографии // Издательство «Казанский национальный исследовательский научный университет», Казань, 2015. С. 268

BIOCHEMICAL CLEANING AS AN ELEMENT OF PROTECTION OF THE CHEMICAL ENTERPRISE AND THE HUMAN RESIDENCE ENVIRONMENT FROM TECHNOGENIC HAZARDS

Lineva O.

kapusta11w@mail.ru

Scientific adviser: S. Maltseva, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

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

Ensuring the technogenic safety of a chemical enterprise is an important task, along with engineering protection of the hydrosphere and atmosphere [1-4] and engineering protection aimed at preventing environmental pollution by waste.

УДК 664, 628.35

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ИЛОВОЙ СМЕСИ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ВТОРИЧНОМ ОТСТОЙНИКЕ ПРИ БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Линева О.С.

kapusta11w@mail.ru

Научный руководитель: С.А. Мальцева, канд. хим. наук, доцент

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

Обеспечение техногенной безопасности химического предприятия важная задача, наряду с инженерной защитой гидросферы и атмосферы [1-4] и инженерной защитой, направленной на предотвращение загрязнения окружающей среды отходами.

Объектом исследования является сточная вода химического предприятия. На основании изучения научно-технической литературы в области обеспечения экологической безопасности обоснован выбор биохимического метода очистки сточных вод и предложена технологическая схема, которая включает вторичный отстойник [5, 6].

В зависимости от назначения отстойников в технологической схеме очистки сточных вод они подразделяются на первичные и вторичные. Первичными называются отстойники перед устройствами (сооружениями) для биологической очистки сточных вод; вторичными – отстойники, предназначенные для окончательной очистки сточных вод, прошедших биологическую очистку.

По режиму работы отстойники бывают периодического (контактного), в которых жидкость поступает «порциями» и очищается без движения (в покое), и непрерывного действия (проточные), в которых жидкость очищается в условиях определенной турбулентности.

В зависимости от направления движения суспензии в отстойниках они подразделяются на горизонтальные, вертикальные и радиальные. В горизонтальных отстойниках жидкость движется почти горизонтально, в вертикальных – вертикально, снизу-вверх, в радиальных – по радиусу от центра к периферии, также, как и в горизонтальных – почти горизонтально (поэтому, радиальные отстойники иногда называют разновидностью горизонтальных). Конструктивно радиальные отстойники часто выполняют с вращающимся сборно-распределительным механизмом; горизонтальные иногда выполняют многополочными.

По направлению подводимой (подаваемой) жидкости отстойники подразделяются на: с нисходящим потоком (чаще всего такой подвод жидкости применяется в вертикальных отстойниках); с восходящим потоком (в основном к ним относятся радиальные отстойники); с горизонтальным подводом (горизонтальные и многополочные отстойники).

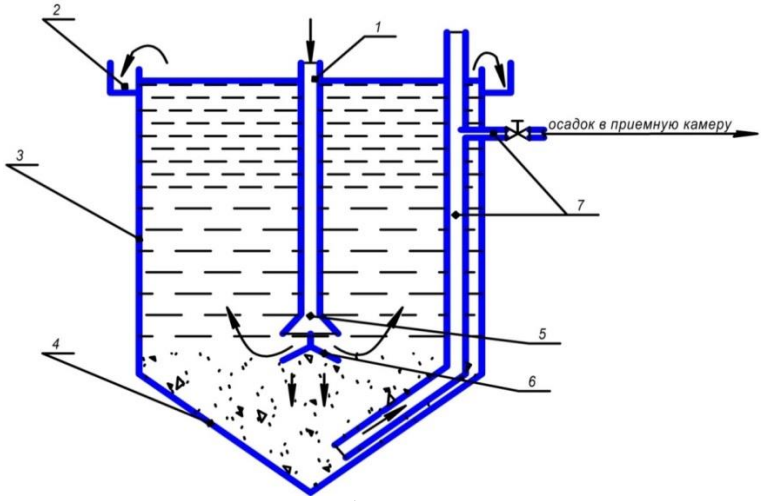
Тип отстойника выбирается с учетом принятой технологической схемы очистки суспензии и обработки осадка, производительности сооружений, необходимой степени очистки, плотности и размеров частиц осаждаемых веществ, соотношения минеральной и органической составляющей в твердой фазе, температуры и кинематической вязкости жидкости, рельефа местности, геологических условий, уровня грунтовых вод и т. п.

Число отстойников необходимо принимать: первичных – не менее двух, вторичных – не менее трех при условии, что все отстойники являются рабочими. При минимальном числе отстойников их расчетный объем необходимо увеличивать в 1,2 -1,3 раза.

Из отстойников перед устройствами для биоочистки (аэротенки, биофильтры, окситенки, биотенки) на полную очистку не должно выноситься взвешенных веществ более 150 мг/дм^3 и продолжительность отстаивания в этом случае должна быть не менее 1,5 ч.

Вторичные отстойники необходимы для отделения, задержания и уплотнения активного ила, поступающего вместе с очищенной водой из аэротенков (окситенков, биотенков) или биологической пленки после биофильтров (биотенков).

Вторичные отстойники по принципу работы относятся к устройствам механической очистки, но являются неотъемлемой частью сооружений биологической очистки (аэротенков, окситенков, биотенков, биофильтров), эффективность биоочистки СВ в которых в значительной мере зависит от концентрации активного ила (повышение концентрации активного ила в сооружениях биоочистки функционально зависит от седиментации АИ). По этому технологическому процессу в них данные аппараты относят к устройствам биологической очистки. Кроме того, чрезвычайно важная роль вторичных отстойников в технологической схеме любых очистных сооружений обусловлена тем, что в них продолжаются процессы окисления адсорбированных хлопьями АИ загрязняющих веществ и они являются практически последним барьером после всех видов очистки перед сбросом в водоем. Не менее важным является то, что должен поддерживаться определенный уровень кислорода, растворенного в воде. По той простой причине, что это определяет качество возвратного ила, поступающего в аэротенк, и его способность к активному окислению.



1 - центральная опускная труба для подвода исходной жидкости;
2 - круговой водослив и лоток (карман) для слива и сбора осветленной жидкости; 3 – корпус отстойника; 4 - коническое днище для сползания и сбора осадка; 5 - раструб;
6 - отражательный щит; 7 - трубопровод для выпуска осадка
Рис. 1. Схема вертикального отстойника

Суспензия подводится к центральной трубе 1 и опускается по ней вниз. При выходе из центральной трубы жидкость меняет свое направление на восходящее вертикальное (частично горизонтальное) и поднимается вверх к сливному сборному желобу 2. При этом из суспензии выпадают нерастворенные ЗВ, удельный вес которых больше удельного веса жидкости. Равномерность распределения суспензии по поперечному сечению S отстойника зависит от множества факторов: от скорости движения (турбулентности) в распределительной центральной трубе и непосредственно в отстойнике, от соотношения сечения и высоты (глубины) отстойника, высоты нейтрального слоя воды под центральной распределительной трубой, температуры жидкости и т.п. Для более равномерного распределения жидкости по всему сечению отстойника и предотвращения взмучивания осадка центральную трубу внизу расширяют (раструб 5). Ниже его устанавливают отражательный щит 6. Отражательный щит изменяет направление движения суспензии с нисходящего на восходящий и уменьшает скорость движения потока [7].

Уровень воды в отстойнике определяется высотой (гребнем) переливного кругового водослива 2, в который поступает осветленная вода.

Удаление осевшего на дно отстойника осадка производится под действием гидростатического столба жидкости через трубопровод 7, расположенный на 1,5 – 2 м ниже уровня жидкости в отстойнике.

Согласно расчетам конструктивных параметров вторичного отстойника: эффект осветления (Э) - 85%; время отстаивания ($t_{отстаивания}$) – 1338 с; гидравлическая крупность задерживаемых частиц (U_0) - 0,78 мм/с; диаметр впускного устройства ($d_{вх}$) – 1,3 м; диаметр отстойника ($d_{отст}$) – 16,3 м; диаметр раструба ($d_{растр}$) – 1,75 м; диаметр отражательного щита ($d_{отр}$) – 2,27 м; высота центральной трубы ($H_ц$) – 4,2 м; высота конусообразной части ($H_к$) – 9,69 м; количество осадка (Q) – 17 $м^3$/ч.

Регулирование процесса разделения иловой смеси достигается за счет конструктивных параметров вторичного отстойника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мингазетдинов И.Х., Мальцева С.А., Гоголь Э.В., Тунакова Ю.А.* Выбор и обоснование рациональной очистки сточных вод производств синтетических полимеров и пластических масс // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №14. С. 131-133**.**

2. *Кремлева Н.В., Буданов А.Р., Мальцева С.А., Тунакова Ю.А.* Стабилизатор полиолефинов фенолят никеля как вторичное сырье, получаемое при очистке

гальванических стоков сернисто-щелочным отходом производства моторных масел // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т.18. №3. С. 101-103.

3. *Мингазетдинов И.Х., Григорьева И.Г., Мальцева С.А., Тунакова Ю.А.* Проектирование рациональной системы вентиляции для очистки воздуха производственных помещений от полимерной пыли // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.1. №5. С. 194-197.

4. *Кулаков А.А., Мальцева С.А.* К вопросу о механизме осаждения ионов меди (II) в процессе гальванокоагуляционной очистки медьсодержащих сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т.19. №21. С. 17–21.

5. *Гоголь Э.В., Мингазетдинов И.Х., Гумерова Г.И., Егорова О.С., Мальцева С.А., Григорьева И.Г., Тунакова Ю.А.* Анализ существующих способов утилизации и переработки отходов полимеров// Вестник Казанского технологического университета. 2013. №10. С. 163-169.

6. *Гоголь Э.В., Мингазетдинов И.Х., Гумерова Г.И., Егорова О.С., Мальцева С.А., Григорьева И.Г., Тунакова Ю.А.* // Устройство для измельчения отходов // Вестник Казанского технологического университета. №10/2013, с.223-226.

7. *В.В. Кирсанов //* Современные технико - технологические методы защиты окружающей среды: монография, часть 1 Процессы и аппараты защиты гидросферы // - Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2013. С. 519.

REGULATION OF THE PROCESS OF SEPARATION OF THE SLUDGE MIXTURE IN A VERTICAL SECONDARY SEDILER DURING BIOCHEMICAL CLEANING MANUFACTURING WASTE WATER

Lineva O.

kapusta11w@mail.ru

Scientific adviser: S. Maltseva, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

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

Ensuring the technological safety of a chemical enterprise is an important task, along with engineering protection of the hydrosphere and atmosphere [1-4] and engineering protection aimed at preventing environmental pollution by waste.

УДК 628.3

ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ИОНОВ АЛЮМИНИЯ (III) ЩЕЛОЧНЫМ РЕАГЕНТОМ, ОБРАЗУЮЩИМСЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ПЛОДОВЫХ ОБОЛОЧЕК ЗЕРЕН ПШЕНИЦЫ МЕТОДОМ НАТРОННОЙ ВАРКИ

Магизова Э.Ф., Курбаналиева Ф.Р.

magizova666@mail.ru, kurbanaliewa.fatima@yandex.ru, ssvkan@yandex.ru

Научный руководитель: С.В. Степанова, канд. техн. наук, доцент

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

Очистка воды с помощью вторичных растительных материалов – это безотходное, безвредное и более дешевое производство. Материалы из отходов сельского хозяйства для очистки воды дешевы по способу получения и утилизации, имеют неограниченную сырьевую базу для производства. В данной работе проведено сравнение существующего метода очистки вод от ионов алюминия 10 % раствором NaOH и альтернативного с применением щелочного реагента из плодовых оболочек зерен пшеницы. Показано, что применение последнего позволяет достичь результатов очистки сточных вод АО «Завод Элекон» от ионов алюминия до нормативов сброса.

Проблема загрязнения водных ресурсов является актуальной в связи с продолжающимся ростом антропогенной нагрузки на природную среду. Высокая загрязненность водных

объектов токсичными веществами требует принятия незамедлительных мер по снижению экологического риска, в противном случае водные ресурсы планеты могут оказаться в катастрофическом состоянии [1].

Алюминий является одним из самых распространённых элементов в земной коре, поэтому содержится в любой природной воде, в которую он попадает как естественным путём при частичном растворении глин и алюмосиликатов, так и в результате вредных выбросов ряда производств (электротехнической, авиационной, химической и нефтеперерабатывающей промышленности, машиностроения, строительства, оптики, ракетной и атомной техники) с атмосферными осадками или водами. Кроме того, соединения алюминия широко используются в процессах водоочистки и подготовки в качестве коагулянтов.

Ионы алюминия, содержащиеся в воде, не относятся к веществам с явно выраженным токсическим действием. Растворы солей алюминия отличаются высокой стабильностью, но при постепенном накоплении в организмах человека и животных оказывают вредное влияние, особенно при наличии дисфункций выделительной системы. Вот почему проблема очистки промышленных стоков и подготовки воды для технических и хозяйственно-питьевых целей с каждым годом приобретает всё большее значение.

Наибольшее распространение в практике очистки воды от ионов металлов получил реагентный метод, который включает в себя процессы нейтрализации, окислительно-восстановительные реакции, комплексообразования, осаждения и др. [2]. Недостатком реагентных методов является высокая стоимость, обусловленная использованием химических реагентов. Выходом из создавшегося положения видится использование в качестве источника реагентов воды других производств [3-10].

Большинство современных, эффективных методов по удалению ионов алюминия являются дорогостоящими, поэтому предложено использовать отходы промышленного и сельскохозяйственного производства, в том числе и сточных вод других производств [11]. Так на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности в результате натронной варки целлюлозы, где в качестве реагента используется едкий натр, образуется черный щелок, в состав которого входят извлеченные из древесины составляющие компоненты [12, 13].

Отходы сельского хозяйства составляют группу ежегодно возобновляемого растительного сырья. Ухудшение экологической обстановки обусловливают необходимость рационального использования отходов производства растительного происхождения в полном объеме [14].

Очистка воды с помощью вторичных растительных материалов – это безотходное, безвредное и практически бесплатное производство. Материалы из отходов сельского хозяйства для очистки воды дешевы по способу получения и утилизации, имеют неограниченную сырьевую базу для производства, практически не требуют химической или физико-химической модификации. К тому же сельскохозяйственное производство является в нашей стране одной из основных отраслей народного хозяйства и в этой связи во всех регионах России образуются отходы, каждый из которых может быть применен в практике очистки сточных вод [15].

На первом этапе работы исследовалась реагентная очистка модельной воды (МВ) от ионов Al^{3+} с концентрацией 100, 50, 25, 10, 5, 1 мг/дм^3.

В качестве реагентов использовались:

1) раствор гидроксида натрия NaOH (10 % масс);

2) сточные воды, полученные в результате натронной варки плодовых оболочек зерен пшеницы.

Предварительно проводились опыты по определению параметров МВ. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры исходной модельной воды, содержащей ионы алюминия (III)

Концентрация ионов алюминия в модельной воде, мг/дм^3	ХПК, мгО/дм^3	pH
100,00	156,8	3,76
50,00	117,6	4,25
25,00	98,0	4,42
10,00	58,8	4,60
5,00	39,2	4,74
1,00	19,6	5,13

Для достижения наилучших показателей при удалении ионов металлов рекомендуется использовать традиционный реагент NaOH, поскольку он обладает высокой реакционной способностью; осадки, полученные с его использованием относительно чисты, легче отмываются, перерабатываются и эффективно разделяются при осветлении.

Очистка МВ проводилась следующим образом. В конические колбы, емкостью 250 см^3 наливалось по 100 см^3 раствора МВ, содержащих ионы Al^{3+} с концентрацией 100, 50, 25, 10, 5, 1 мг/дм^3. Затем добавлялся щелочной реагент до pH=9-10.

В течение часа происходило образование осадка. После отстаивания очищенные воды отфильтровывались, а в фильтрате определялись остаточная концентрация ионов алюминия (III), ХПК, pH, масса осадка согласно стандартным методикам.

Параметры МВ после очистки 10 % раствором гидроксида натрия приведены в таблице 2, щелочным реагентом в таблице 3.

Таблица 2

Параметры модельной воды, после очистки 10 % раствором NaOH

$C_{исх}$, мг/дм^3	$C_{ост.}$, мг/дм^3	pH	ХПК, мг О/дм^3	$m_{ос}$, г/дм^3	Эффективность очистки, %
100,00	0,260	6,03	196	0,464	99,74
50,00	0,320	6,18	117,6	0,227	99,36
25,00	0,220	6,68	98	0,169	99,12
10,00	0,021	6,75	78,4	0,109	99,79
5,00	0,020	6,81	58,8	0,091	99,6
1,00	0,011	6,86	19,6	0,085	98,9

Таблица 3

Параметры модельной воды, после очистки реагентом из ПОЗП

$C_{исх}$, мг/дм^3	$C_{ост.}$, мг/дм^3	pH	ХПК, мг О/дм^3	$m_{ос}$, г/дм^3	Эффективность очистки, %
100,00	0,240	5,29	254,8	0,502	99,76
50,00	0,360	5,00	215,6	0,316	99,28
25,00	0,190	5,28	156,8	0,137	99,24
10,00	0,016	5,06	98,00	0,069	99,84
5,00	0,013	5,06	58,8	0,054	99,74
1,00	0,010	5,56	19,6	0,080	99,00

На следующем этапе исследовалась кинетика осаждения хлопьев гидроксида алюминия в образцах модельной воды после добавления растворов NaOH и реагента из ПОЗП (рисунок 1). Для этого приливались в цилиндры на 100 см^3 МВ с концентрацией ионов алюминия 100 мг/дм^3, добавлялись растворы едкого натра и реагента до выпадения хлопьев.

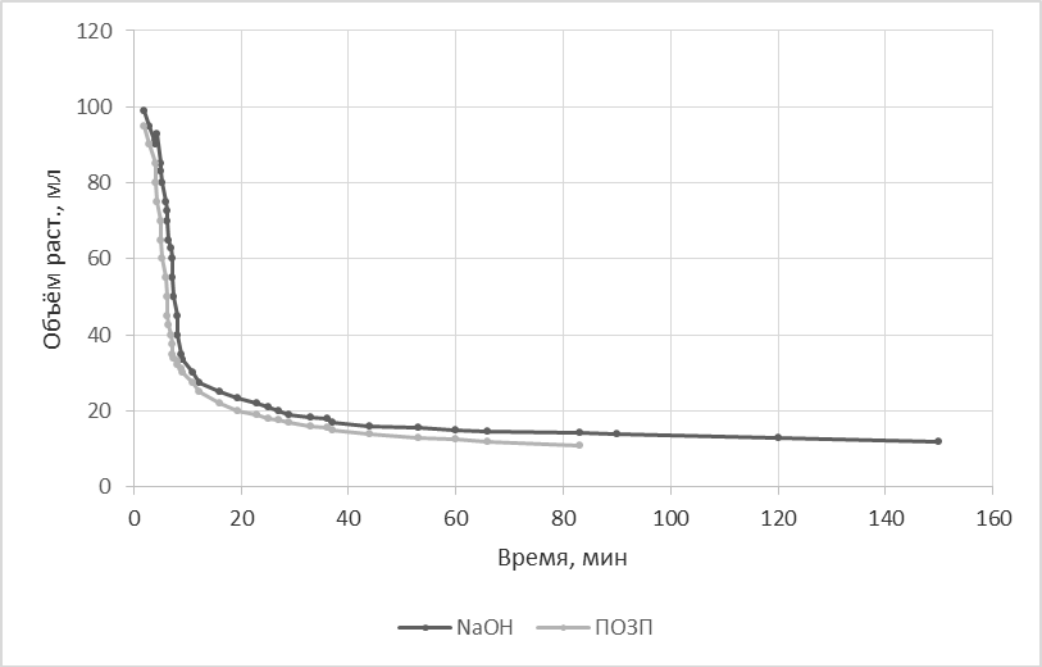


Рис. 1. Кинетика осаждения $Al(OH)_3$

Из рисунка 1 видно, что осаждение $Al(OH)_3$ происходит быстрее при применении реагента из ПОЗП, за счет образования более крупных флоккул, так как при щелочной варке целлюлозы в сточные воды переходит не только не прореагировавшая NaOH, но и щелочной лигнин, и остатки целлюлозы.

Так как щелочной реагент из ПОЗП оказался эффективным, то на следующем этапе работы исследовалась очистка сточной воды предприятия АО «Завод Элекон» как традиционным методом, так и альтернативным.

Таблица 4

Параметры очищенной сточной воды АО «Завод Элекон»

Образец	ХПК, мг О/дм^3	pH	Концентрация ионов алюминия в воде, мг/дм^3
Сточная вода	326,4	2,5	0,425
Очищенная 10 % раствором NaOH	81,6	9,90	0,02
Очищенная реагентом из ПОЗП	122,4	9,53	0,017

Анализируя полученные данные можно сделать следующий вывод: щелочной реагент из ПОЗП можно рекомендовать для очистки сточных вод, при этом остаточная концентрация ионов алюминия достигает значений, не превышающих значения ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Степанова С.В., Шайхиев Т.И., Фридланд С.В.* Очистка модельных вод, содержащих ионы меди, отходами переработки зерновых культур // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 15. С. 318-321.

2. *Смирнов Д. Н.* Очистка сточных вод в процессах обработки металлов */ Д. Н. Смирнов, В. Е. Генкин.* - [2-е изд., перераб. и доп.]. - М.: Металлургия, 1989. – 223.

3. *Шайхиев И.Г., Зарипова А.Г., Зарипов Г.Ш.* Исследование очистки металлосодержащих гальванических стоков производства ОАО «КамАЗ» щелочными стоками нефтехимических производств // Вестник машиностроения. 2007. № 11. С. 72-73.

4. *Минлигулова Г.А., Шайхиев И.Г.,* Исследование очистки сточных вод, содержащих ионы тяжёлых металлов ОАО «КАМАЗ», стоками нефтехимических производств // Вестник технологического университета. 2011. № 6. С. 166-171.

5. *Шайхиев И. Г., Минлигулова Г. А.* Исследование очистки кислых модельных стоков, содержащих ионы тяжелых металлов, сточными водами нефтехимических производств // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 12. С. 118-122.

6. *Шайхиев И.Г., Минлигулова Г. А.* Очистка производственных сточных вод стоками других производств. 1. Смешение сточных вод кислого и щелочного состава // Вода и экология: проблемы и решения. 2008. № 3. С. 3-12.

7. *Шайхиев И.Г., Минлигулова Г. А.* Очистка производственных сточных вод стоками других производств. 2. Очистка сточных вод гальванических производств // Вода и экология: проблемы и решения. 2008. № 4. С. 16-30.

8. *Шайхиев И.Г., Минлигулова Г. А.* Очистка сточных вод одних производств стоками других производств. Очистка сточных вод, содержащих примеси органического происхождения // Вода и экология: проблемы и решения. 2009. № 1. С. 48-60.

9. *Шайхиев И. Г., Минлигулова Г. А.* Очистка сточных вод одних производств стоками других производств. Очистка сточных вод, содержащих примеси неорганического происхождения // Вода и экология: проблемы и решения. 2009. № 2. С. 28-39.

10. *Шайхиев И. Г., Минлигулова Г. А.* Очистка сточных вод одних производств стоками других производств. Использование примесей, содержащихся в стоках, в качестве реагентов для очистки сточных вод // Вода и экология: проблемы и решения. 2009. № 3. С. 13-23.

11. *Мифтахова А.Р., Магизова Э.Ф., Степанова С.В.* Исследование очистки вод от ионов алюминия альтернативными реагентами из отходов злаковых культур // Сборник научных трудов молодых ученых, аспирантов, студентов и специалистов IX Молодежной экологической конференции «Северная Пальмира». – Санкт-Петербург, 2018. – С. 131-134.

12. *Иванов Ю. С.* Производство сульфатной целлюлозы. Учебное пособие. – СПбГТУРП, Санкт-Петербург. – 2010. – 63 с.

13. *Эндюськин П. Н*. Промышленная экология : учебное пособие / *П. Н. Эндюськин, П. М. Лукин, В. П. Эндюськин;* М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Федеральное гос. образовательное учреждение высш. профессионального образования "Чувашский гос. ун-т им. И. Н. Ульянова". - Чебоксары : Изд-во Чувашского гос. ун-та, 2006. – 527 С.

14. *Мифтахова А.Р., Степанова С.В.* Очистка вод от ионов алюминия альтернативным реагентом, полученным из плодовых оболочек зерен пшеницы // Химия и инженерная экология: сборник трудов международной научной конференции, Казань, 27 – 29 сентября 2018 г – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2018. – С. 70-72.

15. *Мифтахова А.Р., Магизова Э.Ф., Степанова С.В., Шайхиев И.Г.* Очистка вод от ионов алюминия инновационным реагентом из плодовых оболочек зерен пшеницы // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды: сб. докл. Международ. науч.-техн. конф., Алушта, 3–7 июня., 2019 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. Ч.1. – С. 231-235.

CLEANING WATER FROM ALUMINUM IONS (III) BY ALKALINE REAGENT, WHICH IS FORMED AS A RESULT OF CELLULOSE FROM FRUIT WHEAT GRAIN SHEETS BY THE SODA METHOD

Magizova E., Kurbanaliewa F.

magizova666@mail.ru, kurbanaliewa.fatima@yandex.ru, ssvkan@yandex.ru

Supervisor: S. Stepanova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

(Kazan National Research Technological University, Kazan)

Water treatment with recycled plant materials is a waste-free, harmless and cheaper production. Materials from agricultural waste for water purification are cheap according to the method of production and utilization, they have an unlimited raw material base for production. In this work, a comparison was made of the existing method of purifying water from aluminum ions with a 10% solution of NaOH and an alternative method using an alkaline reagent from fruit shells of wheat grain. It is shown that the use of the latter allows achieving the results of wastewater treatment of JSC "Plant Elecon" from aluminum ions to discharge standards.

УДК 628.517.2

СНИЖЕНИЕ СТЕПЕНИ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ ПАРА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Муллагалеева Э.Н.
elmira.mn@mail.ru
Научный руководитель: Р.Е. Липантьев, канд. техн. наук
(Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

В данной работе описана степень воздействия производственного шума предприятий энергетической отрасли на человека. Определен источник повышенного шумового воздействия среди производственных объектов. Выполнен анализ и сделан выбор современного технологического решения, направленного на уменьшение величины шумового воздействия энергетических объектов. Рассмотрена конструкция и описан принцип работы современного шумоглушителя.

Одной из главной задач на энергетическом предприятии является обеспечение техносферной безопасности объекта, среди которых активно выделяется защита от производственного шума, повышенный уровень которого негативно отражается на здоровье работающих. Установлено, что сотрудники предприятия регулярно подвергаются воздействию шума, страдают расстройством сердечно-сосудистой и нервной систем и др.

От энергетического объекта излучается, как правило, шум от целой группы источников. Наиболее интенсивными источниками шума являются паровые и газовые турбины, тягодутьевые механизмы, компрессоры, редукционно-охладительные установки, насосы и другое тепломеханическое оборудование [1]. Источниками звукового давления, влияющими непосредственно на величину санитарно-защитной зоны предприятия, являются выбросы пара в атмосферу, происходящие при технологических процессах и реже – при аварийных ситуациях. Технологический шум, создаваемый выбросами пара, распространяется на большие расстояния. Это связано с тем, что выхлопные трубы паровых котлов, редукционно-охладительных установок, различного оборудования, работающего под давлением расположены на крышах производственных помещений и из-за места своего расположения создаваемый ими шум не находит препятствий для распространения.

С целью снижения неблагоприятного воздействия шума при выбросах пара в настоящее время широко используются шумоглушители различных конструкций. В соответствии с ГОСТ 12.1.029-80 различают реактивные, диссипативные (абсорбционные) и комбинированные глушители. Все они относятся к пассивным глушителям, т.к. не используют постороннего источника энергии для шумоглушения.

Диссипативные глушители эффективно работают в широком диапазоне частот, благодаря облицовке внутренней конструкции звукопоглощающим материалом. Использование глушителей диссипативного типа ограничено высокими эксплуатационными требованиями. Это связано с тем, что применяемые в качестве звукопоглощающего материала пористые поглотители не способны работать в среде загрязненных пылью газов, образующих налет на их поверхности.

Наибольшее распространение получили реактивные глушители, использующиеся для снижения шумового воздействия на низких частотах. Они отражают звук за счет образования “волновой пробки”, которые затрудняют передачу акустических колебаний. В реактивных глушителях эффект заглушения достигается преимущественно за счет отражения звуковой энергии обратно к источнику. Примерами простейших реактивных глушителей являются глушители типа расширительных камер и резонансные глушители в виде камер. Такие глушители, настроенные на частоты наиболее интенсивных составляющих путем соответствующего расчета размеров элементов глушителей, обеспечивающие снижение шума до 30 дБА [2].

Альтернативой пассивным глушителям может быть использование глушителей активного типа. Глушитель работает следующим образом: с помощью громкоговорителя создаются волны в противофазе с шумом источника, амплитуды которых при наложении становятся

равными нулю. Это достигается с помощью процессора, который получает сигналы от микрофонов, которые находятся сразу после громкоговорителя. При этом глушитель активного типа не создает дополнительного сопротивления и может снижать шум в запыленном и агрессивном потоке газов.

В последнее время все большее применение получают глушители шума комбинированного типа, в которых используются как свойство звукопоглощения, так и свойство отражения звуковой энергии. Примером комбинированного глушителя может служить камерный глушитель, внутренняя поверхность стенок которого облицована звукопоглощающим материалом [3]. Предлагаемая схема показана на рисунке 1.

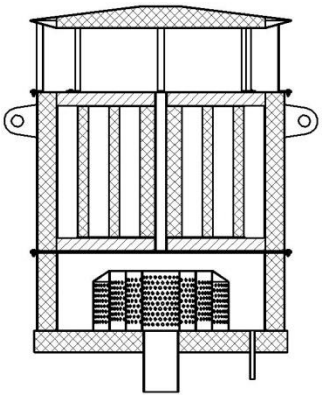


Рис. 1. Глушитель комбинированного типа

Верхняя часть представляет собой крышу, которая предназначена для предотвращения попадания атмосферных осадков в шумоглушитель. Средняя часть – это продолжение корпуса, внутри которого установлены звукопоглощающие кассеты. Эти кассеты состоят из базальтовых плит, ограниченных стеклотканью и перфорированными листами из нержавеющей стали. Аналогично выполнена звукоизоляция корпуса. Кассеты образуют звукопоглощающий объем в виде кольцевых каналов. Нижняя часть содержит в себе корпус цилиндрической формы, тепло - и звукоизолированный внутри, цилиндрические дроссельные решетки, которые делят внутреннюю полость корпуса на расширительные камеры, трубу подвода среды и дренажный патрубок. Дроссельные решетки снизу по периметру приварены к днищу корпуса и сверху закрыты крышками. Подвод пара осуществляется присоединением выхлопного трубопровода к патрубку шумоглушителя.

Достоинством комбинированных глушителей является высокая акустическая эффективность в широком диапазоне частот. Снижение уровня звукового давления при сбросе пара в атмосферу происходит за счет эффективного торможения и расширения потока пара, снижения скорости в выходном сечении и разделения потока на мелкие струи. Также особенностью является поглощение звука звукопоглощающими плитами.

При работе предохранительного или сбросного устройства пар по сбросному трубопроводу снизу попадает во входной патрубок, далее последовательно проходит через расширительные камеры и дроссельные решетки, которые расположены на одной оси, расширяется и снижает скорость. Дроссельные решетки создают выравнивание поля скоростей и уменьшение максимальной скорости истекающего потока до необходимого уровня. Затем этот пар попадает в диссипативную часть шумоглушителя, где происходит ослабление звука в звукопоглощающих плитах. Далее пар выходит в атмосферу между крышкой и корпусом, при этом звуковая волна дополнительно поглощается в крышке. Отвод влаги, который образуется в результате конденсации среды, проходящей через шумоглушитель и оседающей на его внутренних поверхностях, осуществляется в дренажную трубку, находящейся в днище нижней части устройства.

Создание эффективной конструкции шумоглушителя выбросов пара является проблемной задачей из-за воздействия высоких температур, больших скоростей и возможной

конденсации влаги на поверхностях глушителя. Таким образом, комбинация активного глушителя с пассивным позволит максимально снизить уровень шумового воздействия, создаваемого выбросами пара, так как глушитель активного типа снижает шум в низкочастотной области, а пассивный − в высокочастотной [3].

В данной исследовательской работе о рассмотрены проблемы шумового воздействия паровых выбросов объектов энергетики. Описаны глушители, применяемые для подавления шума паровых выбросов. Полученные результаты могут быть использованы и применены в энергетических предприятиях. В связи с этим целесообразным является применение глушителей комбинированного вида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Иванов Н. И.* Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. М.: Университетская книга, Логос. − 2008. С. 424.

2. *Марченко М. Е., Пермяков А. Б.* Современные системы шумоглушения при сбросах больших потоков пара в атмосферу // Теплоэнергетика. − 2007. №6.С. 69 − 72.

3. *Тупов В. Б.* Снижение шума от энергетического оборудования. М.: Издательство МЭИ. − 2005.С. 232.

REDUCTION OF THE DEGREE OF NOISE IMPACT OF VAPOR EMISSIONS AT ENTERPRISES OF THE ENERGY INDUSTRY

Mullagaleeva E.
elmira.mn@mail.ru
Supervisor: R. Lipantiev, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan State Power Engineering University, Kazan)

This paper describes the degree of impact of industrial noise of enterprises in the energy industry on a person. The source of increased noise exposure among production facilities has been determined. The analysis was made and the choice of a modern technological solution aimed at reducing the magnitude of the noise impact of energy facilities was made. The design is considered and the principle of operation of a modern silencer is described.

УДК 502.36

СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА

Насыйрова Г.В.
gulnazka120697@yandex.ru
Научный руководитель: С.М. Шавалеева, канд. хим. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Работа посвящена изучению очистки сточных вод предприятия черной металлургии от ионов железа. При рассмотрении современных наилучших из доступных технологий был выбран коагуляционный метод очистки сточных вод и предложена технологическая схема, которая включает в себя усреднитель, песколовку, коагулятор, отстойник. Произведен расчет коагулятора и описана принципиальная схема аппарата очистки. В работе использованы современные методы и средства оценки техногенной опасности содержания ионов железа в сточных водах предприятия черной металлургии и проведена оценка зоны риска. Также предложенная технология была оценена с точки зрения промышленной безопасности и экономической эффективности.

Объектом исследования являются сточные воды предприятия черной металлургии, содержащие ионы железа.

Цель данной работы направлена минимизацию техногенного воздействия ионов железа, содержащихся в сточной воде предприятия черной металлургии, на водный объект рыбохозяйственного значения на примере сточных вод цеха по обработке металлов.

Чёрная металлургия – отрасль тяжёлой промышленности, объединяющая

технологически и организационно предприятия по добыче и обогащению рудного и нерудного сырья, по производству огнеупоров, продуктов коксохимической промышленности, чугуна, стали, проката, ферросплавов, стальных и чугунных труб, а также изделий дальнейшего передела, металлических порошков чёрных металлов [1].

Ионы железа попадают в сточные воды в процессе обработке металлических поверхностей.

В данной работе проведен анализ передового отечественного и зарубежного опыта в сфере экологической безопасности в области защиты гидросферы, на основании которого предложено внедрение коагулятора для очистки сточных вод предприятий черной металлургии от ионов железа [2].

Технологический процесс очистки сточных вод предприятия черной металлургии от ионов железа:

1) подготовка сточных вод к очистке;

2) очистка сточных вод;

3) выгрузку, удаление и утилизацию осадков.

Технологическая схема очистки сточных вод предприятия черной металлургии от ионов железа, рассмотренная в данной работе, представлена на рисунке 1

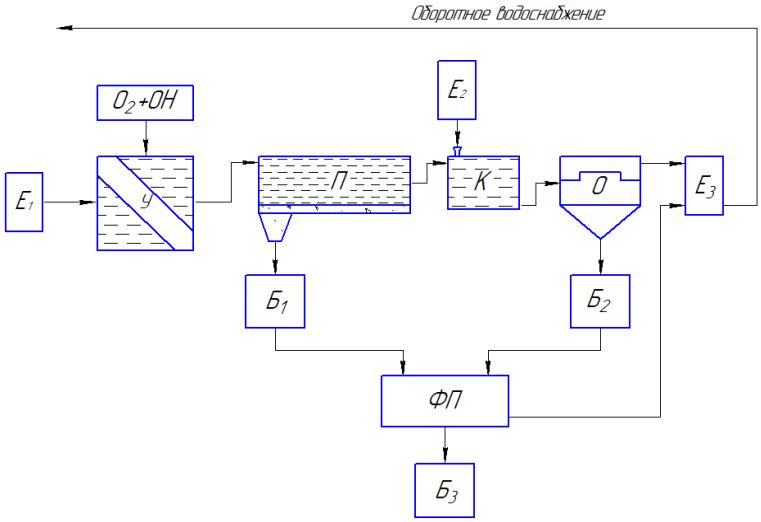


Рис. 1. Технологическая схема очистки сточных вод
предприятия черной металлургии от ионов железа:
Е1- емкость накопительная для СВ со всех цехов, У – усреднитель, П – песколовки,
К – коагулятор, О – отстойник, ФП – фильтр пресс, Е2 – емкость для смешивания чистой воды
с коагулянтом, Е3 – емкость накопительная для сбора очищенной воды,
Б1,Б2 – бункер для сбора осадков, Б3 – бункер для сбора осадка на утилизацию

Вода из цеха по обработке металлических поверхностей предприятия черной металлургии поступает в накопительную емкость для сбора сточных вод Е1. В усреднителе производится усреднение воды по pH путем добавления раствора щелочи. После вода попадает в песколовки П. Далее сточная вода идет в коагулятор К, куда автоматически дозатором добавляется коагулянт перемешанный с чистой водой из емкости 2 Е2.. Образование хлопьев протекает в течение 20 - 30 минут. Очищенная вода с помощью насоса попадает в отстойник О для отстаивания воды. В отстойнике происходит гравитационное осаждение взвешенных частиц за счет резкого снижения скорости движения жидкости. Максимальная скорость движения воды в горизонтальном отстойнике составляет 0,7 мм/с. Продолжительность отстаивания составляет 0,5 - 1,5 ч. За это время основная масса взвешенных веществ выпадает в осадок. Эффективность очистки в горизонтальном отстойнике достигает 50 - 60%.Осадоксгребается в бункер для сбора осадков Б2 скребковым механизмом. Угол наклона стенок приямка принимают равным 50 - 60^{o}. Очищенная вода поступает емкость для

сбора очищенной воды и идет обратно на производство для повторного использования. Осадки с бункеров Б1 и Б2 направляются в фильтр пресс, где осадки осушают. Сухой осадок направляют в бункер Б3 и дальше утилизируют. А вода отправляется в емкость Е3 для дальнейшего использования.

В данной технологической схеме предложена система оборотного водоснабжения..

Основным аппаратом данной технологической схемы является коагулятор (рисунок 2).

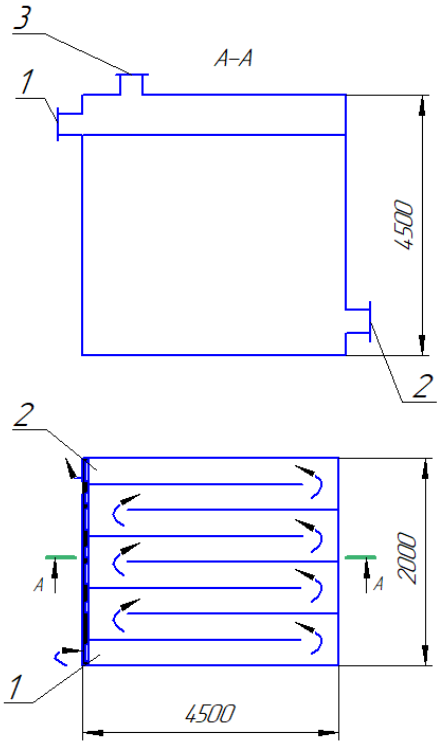


Рис. 2. Горизонтальный коагулятор с перегородками:
1 – сточная воды, 2 – очищенная вода, 3 – поступление чистой воды с коагулянтом

В горизонтальной камере сточная вода протекает по нескольким последовательно соединенным коридорам. Перемешивание осуществляется за счет 8 – 10 поворотов. Коридоры устраиваются таким образом, чтобы скорость движения сточной воды в первом была 0,2 − 0,3 м/с, а в последнем – 0,1 м/с. Продолжительность пребывания воды в перегородчатых камерах 20 − 30 мин [3].

В ходе выполнения работы были произведены расчеты параметров коагулятора, произведена оценка предложенной технологии с точки зрения промышленной безопасности и экономической эффективности [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В.* Водоотводящие системы промышленных предприятий. М.: Стройиздат, 1990. 511 с.

2. *Гуревич П.А., Шавалеева С.М., Глебов А.Н., Баянова Л.Н.* Химическая коррозия стеклобоя и отходов стеклянной тары как фактор негативного влияния на окружающую среду / Вестник КНИТУ-КХТИ, 2013, №11, с 58

3. Очистка производственных сточных вод: Учеб.пособие для ВУЗов / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.И. Лесков, Ю.В. Воронов; Под ред. С. В. Яковлева. – 2-ое изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1985. – 335 с.

4. *Кирсанов В.В.* Промышленная и экологическая безопасность: практикум/ В.В.Кирсанов: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. - 211с.

THE CLEANING SYSTEM OF THE GLASS-MAKING FURNACE EMISSIONS FROM NITROGEN OXIDES

Nasyyrova G.
gulnazka120697@yandex.ru
Supervisor: S. Shavaleeva, Candidate of Chemical Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)*

The work is devoted to the study of wastewater treatment of ferrous metallurgy from iron ions. When considering the modern best available technologies, a coagulation method for wastewater treatment was chosen and a technological scheme was proposed, which includes an averager, a grit trap, a coagulator, a sump. The calculation of the coagulator is made and the schematic diagram of the cleaning apparatus is described. The study used modern methods and means of estimation of technogenic danger of the content of iron ions in the wastewater enterprises of ferrous metallurgy and assessed areas of risk. Also, the proposed technology was evaluated in terms of industrial safety and economic efficiency.

УДК 628.345

ОЧИСТКА ВОД НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ФИЛЬТРАЦИОННО-СОРБЦИОННЫМ МЕТОДОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛОДОВЫХ ОБОЛОЧЕК ЗЕРЕН ЯЧМЕНЯ

Николаева Е.С.
niko.evgeniya2018@gmail.ru
Научный руководитель С.В. Степанова, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань)

В работе предложено применение модифицированных плодовых оболочек зерен ячменя в качестве фильтрующей загрузки, для доочистки химически загрязненных сточных вод нефтехимического производства. При этом достигнуто снижение концентрации ионов алюминия на 58 %, а меди – на 36 %.

Татарстан одна из самых богатых нефтью республик России. На территории Татарстана располагается около 63 нефтеперерабатывающих производств, что позволяет как республике, так и России в целом иметь с продуктов нефтепереработки хорошую прибыль. Все производства такого типа используют в технологическом процессе большое количество воды, что приводит к необходимости наличия на вооружении объектов, способных очищать использованную воду. Очистные сооружения доводят показатели стока до допустимых значений, соответствующих среднему содержанию концентрации в водных объектах. На сооружениях определяется и очищается множество факторов, таких как: фосфаты, сульфаты, сульфиды, ионы аммония, железа, меди, алюминия, цинка и множество других. По данным исследований экологических инспекций, в водоемах республики наблюдается превышение предельно допустимых концентраций многих веществ, что показывает насколько важно создать фильтра, который мог бы поддерживать пригодный состав воды [1]. Так как на очистных сооружениях в фильтрах содержится активный уголь, который является довольно хорошим абсорбентом, на котором осаждается огромное количество различных веществ, сам процесс очистки является дорогим. И даже такой дорогой фильтр не справляется с некоторыми параметрами, такими, как например ионы различных металлов [2].

Превышение содержания ионов Al^{3+} или Cu^{2+} в организме человека приводит к развитию серьезных заболеваний, что является крайне опасным, а также с точки зрения их биологической активности, вследствие мутагенного, канцерогенного и патогенного воздействия на флору и фауну. На данный момент используется множество методик очистки сточных вод, но самым распространённым является реагентный метод, который состоит из процессов нейтрализации, окислительно-восстановительных реакций, осаждения и обезвоживания образующегося осадка, и позволяет довольно полно удалять из стоков ионы металлов [3].

В проведенных ранее работах на кафедре инженерной экологии ФГБОУ ВО КНИТУ показано, что очистка модельных вод от ионов металлов модифицированными растительными отходами позволяет снизить их концентрации до нормативов сброса [4].

Данный эксперимент проводился на биологических очистных сооружениях ПАО «Нижнекамскнефтехим», на химическом стоке.

Первоначально проводилось модифицирование поверхности плодовых оболочек зерен ячменя (ПОЗЯ) путем последовательных процессов:

1) перемешивания 30 г ПОЗЯ в 300 мл 1 %-ного раствора серной кислоты в течение одного часа,
2) фильтрования;
3) промывания дистиллированной водой;
4) высушивания до постоянной массы.

Очистку сточной воды ПАО «Нижнекамскнефтехим» проводили следующим образом: в сосуд емкостью 5 л наливался объект исследования. В качестве фильтрующего материала использовались модифицированные образцы ПОЗЯ, который засыпался в колонку, через которую пропускался модельный раствор с расходом 10 $см^3$/мин. Схема установки представлена на рисунке 1. В очищенной воде определялось остаточное содержание ионов алюминия [5] и меди [6].

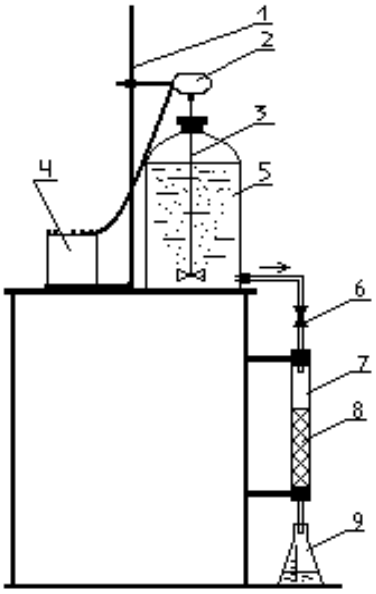


Рис. 1. Схема лабораторной установки:
1 - штатив; 2 - мотор; 3 - мешалка; 4 - лабораторный трансформатор; 5 - расходная емкость;
6 - кран; 7 - фильтровальная колонка; 8 - слой сорбционного материала; 9 - приемная емкость

По результатам проведенных экспериментов, после проведения очистки химически загрязненных сточных вод ПАО «Нижнекамскнефтехим» фильтрационно-сорбционным методом при использовании образцов модифицированного ПОЗЯ достигнуто снижение концентрации ионов алюминия на 58 %, а меди – на 36 %.. Следовательно, можно сделать вывод, что данный фильтр можно использовать для абсорбции данных ионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Orgpage. Рубрике Нефтеперерабатывающие заводы в Республике Татарстан [Электронный ресурс] //URL: http://www.orgpage.ru/resp-tatarstan/нефтеперерабатывающие_заводы/ (Дата обращения 11.07.19)

2. *Т.А. Кондратьева, И.Б. Выборнова, Р.Н. Исмаилова.* Оценка экологического состояния водоемов Казани. [Электронный ресурс] //URL: https://cyberleninka.ru/article/v/otsenka-ekologicheskogo-sostoyaniya-vodoemov-goroda-kazani *Таубе* (Дата обращения 11.07.19)

3. *Баранова А.Г.* Химия и микробиология воды. –М.: Высшая школа,1983. –180 с.

4. *Fazullin D.D.* The use of leaves of different tree species as a sorption material for extraction of heavy metal ions from aqueous media / D.D. Fazullin and others // International Journal of Pharmacy and Technology. – 2016. – Т. 8, № 2. – С. 14375-14391.

5. ПНД Ф 14.1:2:4.166-2000. Количественный химический анализ вод [Текст]. – Москва, 2004. – 21 с.

6. ПНД Ф 14.1:2:4.48-96. Количественный химический анализ вод [Текст]. – Москва, 2011. – 22 с.

CLEANING WATER OF PETROCHEMICAL PRODUCTION FILTRATION-SORPTION METHOD WHEN USING MODIFIED FRUIT SHEETS OF BARLEY GRAINS

Nikolaeva E.

niko.evgeniya2018@gmail.ru

Supervisor S. Stepanova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

(Kazan National Research Technological University, Kazan)

In the work, the use of modified fruit shells of barley grains as a filtering feed, for the purification of chemically contaminated wastewater from petrochemical production, is proposed. In this case, a decrease in the concentration of aluminum ions by 58%, and copper - by 36%.

УДК 504.3.054

ПАРАМАЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ВЫБРОСАХ

Платонова М.С.

platonova_ms@mail.ru

Научный руководитель: Э. В. Гоголь, канд. хим. наук, доцент

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

Данная работа основана на анализе образования загрязняющих хлорорганических соединений на основе исследований, экспериментальных данных. Вывести оптимальную комбинацию условий для снижения или исключения хлорорганических соединений в выбросах при термической переработке отходов.

Качество атмосферного воздуха зависит от множества факторов, начиная от количества выбрасываемых загрязняющих веществ и заканчивая их качеством. Одним из наиболее опасных компонентов выбросов являются высокотоксичные, канцерогенные, мутагенные соединения – диоксины и схожие с ними по строению соединения (фураны, бензапирены, полиароматические углеводороды).

Диоксины – это высокотоксичные вещества полихлорированных или же полибромированных дибензодиоксинов и дибензофуранов.

Условия формирования:

1) высокая температура;

2) щелочная среда;

3) хлор/бром содержащие соединения;

4) присутствие радикалов в реакционной смеси или технологическом процессе.

Образуются при температуре 290 – 500^{o}C (в связи с повышением концентраций несгоревших органических веществ и хлора), крайне стабильны в сильнокислых и щелочных растворах, устойчивы к действию окислителей, имеют низкую растворимость в воде – 10^{-7} мг/дм^3 (увеличение растворимости возможно за счёт водорастворимых полимерных веществ, в процессе комплексообразования) [1,2].

Цель представленной работы – выявить условия для снижения или исключения хлорорганических соединений из выбросов.

Хлорорганические соединения – диоксины оказывают ингибирующее воздействие на биологические организмы и носят накопительный характер. Согласно заключению экспертов международного агентства по изучению рака диоксины относятся к 1 группе опасности. Максимальное токсическое действие оказывает 2,3,7,8 – тетрахлордибензодиоксин (ТХДД) структура представлена на рис.1.

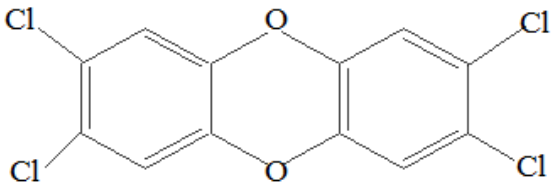


Рис. 1. Структура 2,3,7,8 – ТХДД

Высокостабильны в окружающей среде, период полураспада составляет около 10 лет. Высокая степень фиксации в биологических организмах позволяет построить модель транспортирования диоксина в биосфере: с выбросами хлорорганические соединения поступают в почву, через плодородный слой её растительные организмы поглощают почвенную фауну с содержащимися токсикантами, иными словами происходит формирование детритных пищевых цепей. Или же при попадании в водную экосистему, проходят такой же путь через гидробионтов. Высокий накопительный эффект обусловлен периодом полураспада, как следствие концентрации хлороганических соединений с течение времени возрастает экспоненциально. Диоксины накапливаются в липидных мембранах, с последующим индуцированием активности цитохромов, что приводит к образованию свободных радикалов внутри клетки, открывая возможность нарушения структуры ДНК биологического организма, как следствие, обуславливая мутации [3].

Условия формирования диоксинов позволяют идентифицировать источники образования загрязняющих веществ. Весомый вклад в загрязение атмосферы хлорорганическими соединениями оказывает термическая обработка углеводородных соединений, с содержанием металлов и галогенов. Главными первичными источниками этих ксенобиотиков остаются процессы сжигания бытовых и промышленных отходов.

Разнообразный состав утилизируемых отходов, при термической утилизации так же служит источником хлорорганических соединений, загрязняющими веществами будут продукты неполного сгорания (углеводороды, ароматические углеводороды, хлорированные производные, азот и бромзамещенные вещества, хлорфенолы и фенолы, полихлорированные дибензодиоксины, фураны, бифенилы, кислые газы хлористоводородной кислоты, сернистого газа, окислы азота и другие).

Процесс формирования дибензодиоксинов и дибензофуранов при сжигании поливинилхлорида (ПВХ) приведён на рис.2.

Актуальность данной работы выражается остротой проблемы обращения с образующимся токсикантами в процессе деятельности человека. Решение вопроса формирования диоксинов лежит в таких направлениях, как: исключение процессов, способствующих комбинации хлорорганических соединений; реорганизацией имеющихся технологических линий, за счёт их модернизации; реализация схемы очистных сооружений с доведением концентрации мутагенов, канцерогенов, ингибиторов и токсикантов до уровня ПДК, который составляет $0{,}5 \cdot 10^{-12}$ г/м^3.

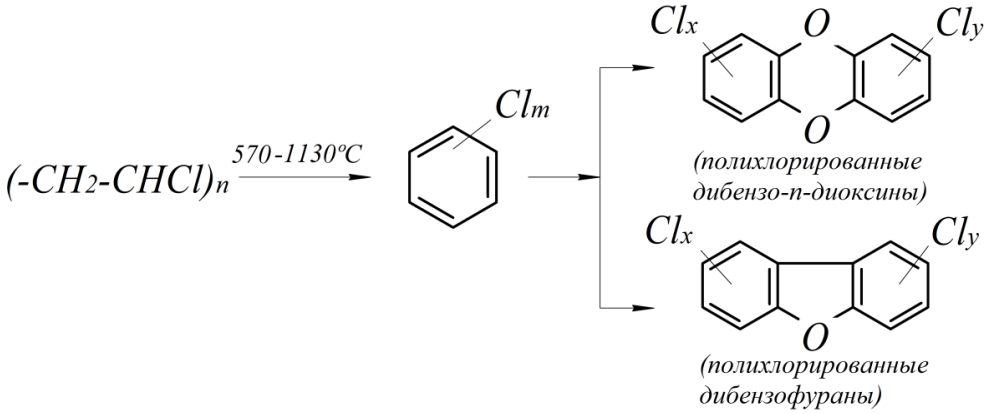


Рис. 2. Образование дибензодиоксинов и дибензофуранов при сжигании поливинилхлорида

Защита от диоксиноподобных супертоксикантов одна из самых сложных проблем очистки. Крайне низкие концентрации этих веществ невозможно установить простыми методами массового анализа. Эти ксенобиотики невозможно уничтожить в биосфере доступными для массового применения методами и средствами [4].

Определяющими параметрами при проведении анализа ЗВ в атмосферном воздухе служат: географическое расположение (климатическая зона и территория), метеорологические условия, температурные режимы. Согласно данным Роспотребнадзора Уровень ПДК в атмосферном воздухе по диоксинам составляет ($0{,}5 \cdot 10^{-12}$ г/м^3) и диоксины отнесены к первому классу опасности. ПДК достигается только на расстоянии 0,5 – 1 км от источника выброса за счёт смешения с атмосферным воздухом. Определение диоксинов производится хромато-масс-спектрометрией.

Для создания схемы по снижению выбросов хлорорганических соединений, необходимо проанализировать и идентифицировать условия, способствующие их деструкции.

Разрушение происходит при температурах, превышающих 1200^{o}С (при понижении температуры возможна частичная рекомбинация), соответственно доведение температуры не менее 1200^{o}С при термической переработке с минимальным временем нахождения равным 4 секунды. Исходя из условий формирования - исключение хлор/бром содержащих соединений из состава фракции, подвергающейся термической обработке, иными словами предварительная сортировка отходов с удалением из них галогеносодержащих соединений позволяет снизить число образующихся хлорорганических соединений. А так же содержание кислорода должно превышать 10 % [5].

Соблюдение всех вышеизложенных факторов способствует значительному снижению образующихся загрязняющих веществ.

Путь, основанный на борьбе с последствиями, требует меньших энергетических и экономических затрат. Моделирование системы очистных сооружений на этапах функционирования – нецелесообразно с точки зрения экономического аспекта. Поэтому в странах ЕС Еврокомиссия переходит на подход, основанный на «zero waste», ужесточаются нормы по выбросам, и снижается отходообразование. Опираясь на исследования разных стран по ухудшению здоровья населения в зонах влияния хлорорганических соединений[6].

Согласно проведённому анализу, на основе исследований и полученных экспериментальных данных условиями для образования высокотоксичных и канцерогенных соединений являются: наличие полиэтилена и его производных; высокая температура; щелочная среда; хлор/бром содержащие соединения; присутствие радикалов в реакционной смеси или технологическом процессе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Integrated Pollution Prevention and Control «Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration” August 2006

2. *Игорь Мазурин, Вера Понуровская* НИУ МЭИ; Доклад на XXV заседании Всероссийского междисциплинарного семинара-конференции геологического факультета МГУ «Система Планета Земля» «Мусоросжигательные заводы: последствия безопасной утилизации» 31.01.2017

3. *С.Г. Матвеев, И.В. Чечет, В.Ю. Абрашкин, А.В. Семёнов* «Образование канцерогенных полициклических ароматических углеводородов в модельной камера сгорания ГТД» 2013

4. *А.Г. Ветошкин* «Теоретические основы защиты окружающей среды» уч. Пособие. Пенза 2002, С.165-167

5. *Ившин В.П., Полушин Р.В.* Диоксины и диоксиноподобные соединения: пути образования, свойства, способы деструкции.

6. *Федоров Л.А.* Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы, Монография. - Москва, Наука, 1993. - 266 с.

PARAMETERS WHICH DETERMINING THE CONCENTRATIONS OF CHLOORGANIC COMPOUNDS IN EMISSIONS

Platonova M.

platonova_ms@mail.ru

Supervisor: E. Gogol, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

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

This paper is based on the analysis of the formation of chloorganics pollutants compounds based on research, experimental data. To derive the optimal combination of conditions to reduce or eliminate chloorganics compounds in emissions during thermal processing of waste.

УДК 66.081.32

СОРБЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ДИОКСИНОВ В ВЫБРОСАХ ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ

Платонова М.С.

platonova_ms@mail.ru

Научный руководитель: Э. В. Гоголь, канд. хим. наук, доцент

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

Данная работа основана на анализе сорбционных материалов для улавливания макрозагрязнений в выбросах предприятия по термической утилизации отходов. Выявлена взаимосвязь между такими параметрами, как диаметр адсорбента, скорость газового потока, давление, температурный режим.

Влияние на качество атмосферного воздуха оказывает множество факторов, однако одним из наиболее значимых являются выбросы от мусоросжигательных заводов (МСЗ), за счёт содержания в них высокотоксичных, канцерогенных, мутагенных соединений. Среди которых – диоксины, и схожие с ними по строению соединения (фураны, бензапирены, полиароматические углеводороды). Ежегодно производится миллионы тонн твёрдых коммунальных отходов, и вопрос дальнейшего обращения с ними стоит остро. Организуются МСЗ на которых происходит снижение твердой фракции до 10 %, и образуются вторичные отходы (газообразные, жидкие и твёрдые), оказывающие ингибирующее воздействие на живые организмы, снижающее качество природной среды. Как следствие, экологизация данного производства необходима для обеспечения безопасности и сохранения качества окружающей среды, за счёт введения мероприятий и систем очистки.

Согласно природоохранному законодательству, предприятия по утилизации и обезвреживанию отходов должны реализовать природоохранные мероприятия, основанные на наилучших из доступных технологий (НДТ) и доведение концентрации загрязняющих веществ до предельно допустимых предельно допустимая концентрация (ПДК) по

диоксинам составляет $0{,}5 \cdot 10^{-12}$ г/м^3.

При термической утилизации состав ТКО разнообразен, за счёт высокого содержания углеводородных соединений, металлов, галогенов. Именно разнообразие утилизируемых отходов и представляет собой опасность, за счёт образования как металлов, продуктов неполного сгорания, высокотоксичных соединений (микрозагрязнений).

Продукты неполного сгорания включают в себя более сотни опасных веществ: углеводороды, ароматические углеводороды, хлорированные производные, азот и бромзамещенные вещества, хлорфенолы и фенолы, полихлорированные дибензодиоксины, фураны, бифенилы, кислые газы хлористоводородной кислоты, сернистого газа, окислы азота.

В представленной работе рассматривается процесс адсорбционной очистки газовых выбросов от таких загрязняющих веществ, как диоксины и полиароматические углеводороды.

Диоксин является только одним из многих соединений, который имеет высокую токсичность. При исключении одного атома кислорода образуется фуран, исключив второй атом кислорода – бифенил, путём незначительных перестановок атомов в процессе сжигания ТКО мы получаем различные высокотоксичные соединения. Диоксины хорошо адсорбируются на любых материалах, как следствие практически все диоксины связаны с частицами пыли.

Защита от диоксиноподобных супертоксикантов одна из самых сложных проблем очистки. Крайне низкие концентрации этих веществ невозможно установить простыми методами массового анализа. Эти ксенобиотики невозможно уничтожить в биосфере доступными для массового применения методами и средствами.

Адсорбция углеродными материалами с высокой удельной поверхностью и разнообразными функциональными группами наиболее широко применяется для удаления диоксинов и неорганических соединений, включая ртуть и ее соединения. Для сокращения выбросов диоксинов как в технической практике, так и в теоретических исследованиях были предложены различные углеродные материалы, такие как активированный уголь (АУ), бурые Коксы, углеродные нанотрубки (УНТ), графиты.

Нано-графит является одним из типов материала в нано-масштабе и содержит шестиатомные кольца с sp^2 гибридизацией атомов углерода в качестве основных единиц,

который является слоистым материалом рис.1. Соответствующие исследования показали, что π-π взаимодействия, образованные графитовыми листами и соединениями с бензольными кольцами, играют важную роль в процессе адсорбции.

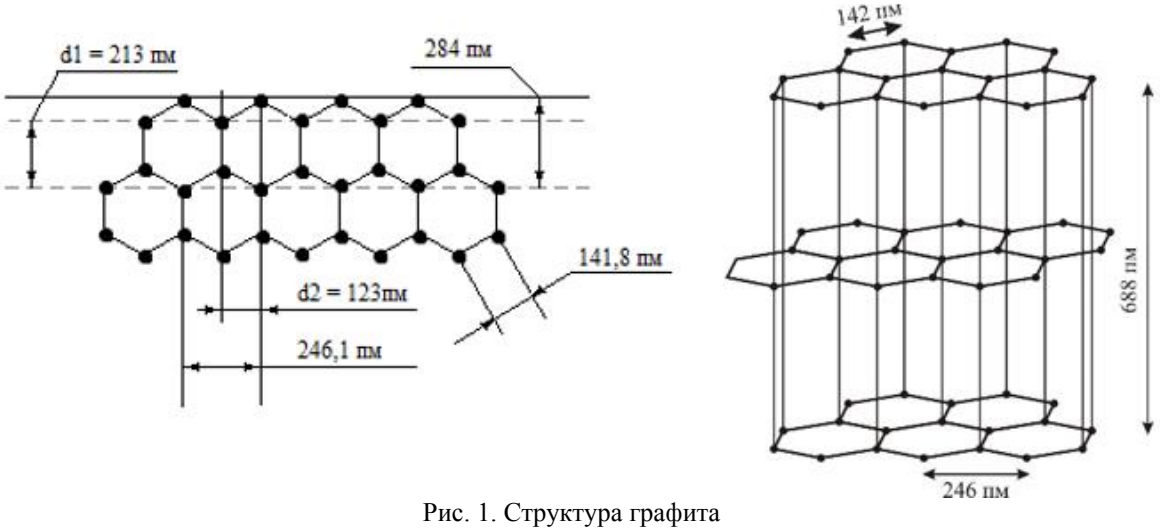


Рис. 1. Структура графита

Диоксин, одно из органических соединений, который содержит π-электроны, которые

могут взаимодействовать с π-электронами бензольного кольца графитовых листов посредством π-π взаимодействия. π-π-взаимодействия между π-электронно-богатыми кольцами ПХДД/Ф и π-электронно-обедненными областями поверхности графитовых листов являются механизмом удаления ПХДД/Ф. Это также говорит о том, что графит является перспективным адсорбентом для удаления диоксина и может использоваться на установках сжигания.

Три основных фактора адсорбента влияющих на эффективности удаления: объем мезопор (более высокий объем мезопор увеличивает адсорбционную способность ПХДД/Ф и облегчает внутреннюю диффузию молекул ПХДД/Ф); размер пор 2-20 нм критический фактор для емкости адсорбцией ПХДД/Ф, размер пор графита должен быть больше 2 нм; объем микропор и удельная площадь поверхности, а также площадь поверхности ставки должны быть больше, чем 500 $м^2$/ г.

По сравнению с другими адсорбентами, такими как АУ и эффективность удаления ПХДД/Ф графитом может достигнуть почти 100%.

Увеличение степени эффективности удаления диоксинов в выбросах так же достигается подбором фильтрационной установки. Для удаления хлорорганических соединений был подобран параллельный радиальный адсорбер (ПРА). Разработка такой конфигурации заключалась в повышении производительности адсорбционного слоя путем расширения возможных вариантов выбора диаметра адсорбента. Предлагаемое устройство эффективно снижает падение давления за счет увеличения площади контакта газового потока; таким образом, меньший адсорбент может быть нанесен в слой ПРА.

Применение новой конфигурации привело к значительному снижению перепада давления. Следовательно, маленькие частицы, которые выбираются в качестве адсорбирующей среды, будут увеличивать площадь массообмена и, следовательно, скорость массообмена. Возможность обработки высокой скорости потока с помощью предложенной конфигурации обеспечивает хороший потенциал для сокращения времени цикла.

Согласно результатам исследования ПРА для конкретной конфигурации слоя уменьшение размера частиц приводит к росту всех факторов, может эффективно снизить падение давления в слое. Этот факт позволяет нам выбирать мелкие частицы в качестве адсорбента вместо миллиметровых. Эта опция увеличивает процент насыщения слоя колонны с 88 до 98%, что впечатляет с промышленной точки зрения.

Теоретическое исследование параллельного радиального адсорбера: новая конфигурация температурного колебания газового адсорбционного слоя –параллельный радиальный адсорбер (ПРА).

Суть данной конфигурации – повышение производительности адсорбционного слоя путем расширения возможных вариантов выбора диаметра адсорбента. Предлагаемое устройство эффективно снижает падение давления за счет увеличения площади контакта газового потока; таким образом, меньший адсорбент может быть нанесен в слой ПРА.

Для достижения максимально допустимого падения давления адсорбент должен иметь соответствующий размер. Размер адсорбента влияет на длину неиспользованного слоя и перепад давления. Меньшие адсорбенты могут обеспечить гораздо большую площадь массопереноса и меньшую глубину диффузии внутри адсорбента; следовательно, чем меньше размер, тем короче длина неиспользованного слоя, что соответствует увеличению ёмкости адсорбционного слоя. Однако за счет уменьшения диаметра частиц перепад давления будет увеличен.

Снижение линейной скорости газов, контактирующих с частицами адсорбента, является одним из способов, который приводит к такой цели. Существует только один вариант сохранения постоянных рабочих условий (температуры, давления и расхода) и снижения скорости: увеличение площади поверхности контакта газа с частицами адсорбента. Это может быть возможно путем изменения конфигурации частиц адсорбента в слое. В осевой конфигурации площадь контакта, которая является постоянной вдоль слоя, является просто поперечным сечением слоя.

Стоит отметить, что с увеличением числа трубных кругов линейная скорость уменьшается, что приводит к меньшему падению давления. Таким образом, можно выбрать меньший размер частиц, чтобы длина массопереноса была уменьшена. Или же скорость потока может быть увеличена как на стадиях адсорбции, так и на стадии регенерации.

Вместо проведения экспериментов на производительность предлагаемой конфигурации проводится оценка с использованием математического моделирования и параметрического исследования [14].

Другим важным фактором для изучения производительности адсорбционного слоя является время прорыва. Чем дольше время, тем больше возможностей у адсорбционного слоя. Оно показывает, какой процент от общего количества адсорбентов находится в состоянии равновесия в слое.

Перепад давления предлагаемой структуры позволяет использовать субмиллиметровые частицы адсорбента в слое. Благодаря более высокой массообмену этих мелких частиц на стадиях адсорбции и регенерации улучшается общая производительность системы. Другим результатом контроля падения давления является возможность обработки более высоких скоростей потока.

Результаты показывают, что для предлагаемого ПРА конфигурации слоя с уменьшением размеров частиц приводит к росту всех показателей. Снижение давления в слое позволяет нам выбирать мелкие частицы в качестве адсорбента вместо миллиметровых. Эта опция увеличивает процент насыщения слоя колонны с 88 до 98% [15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *С.М. Гордышевский*, «Аналитический обзор по проблеме мусоросжигания: экологические аспекты» Санкт-Петербургский Экологический союз, 05. 2008

2. *С.Г. Матвеев, И.В. Чечет, В.Ю. Абрашкин, А.В. Семёнов* «Образование канцерогенных полициклических ароматических углеводородов в модельной камера сгорания ГТД» 2013

3. Министерство природных ресурсов и экологии России, справочник НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)» Том 3, Москва, 2015, 5.2.7 Технологии очистки газообразных продуктов сгорания С.144

4. *Awad. M.M., Ramzy K.A., Hamed A.M., Bekheit M.M.*: Theoretical and experimental investigation on the radial flow desiccant dehumidifacatiom bed. С. 75-85 (2008)

5. *С.А. Бережной, Б.С. Аксенов* «Расчёт адсорбционной установки периодического действия для улавливания веществ активным углём.» уч. пособие. 2013

6. *Gholami, M., Talaie, M.R., Aghamiri, S.F.*: The development of a new LDF mass transfer correlation for adsorption in fixed beds. Adsorption 22(2), 195–203 (2016)

SORPTION MATERIAL FOR CAPTURING DIOXINS IN THERMAL WASTE DISPOSAL

Platonova M.

platonova_ms@mail.ru

Supervisor: E. Gogol, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

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

This work is based on the analysis of sorption materials for capturing macro pollutants in emissions from a thermal waste disposal facility. The relationship between parameters as the diameter of the adsorbent, the gas flow rate, pressure, temperature is revealed.

УДК 628.35

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛА

Теляшева Л.Р.
ltelyasheva@mail.ru
Научный руководитель: О.С. Сибгатуллина, Р.Р. Шипилова
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В связи с ужесточением требований природоохранного законодательства к качеству и производственному контролю состава образующихся сточных вод возникла необходимость в подборе оптимальных способов очистки и обезвреживания фенолсодержащих вод. Биологическая очистка сточных вод, содержащих стойкие органические соединения, позволяют выполнить не только данные требования, но и достичь ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения и учесть все современные тенденции в обеспечении техносферной безопасности.

Ускоренное развитие химической промышленности привело к строительству множества производств, малая часть которых обладает малоотдоходной и полностью безотходной технологией и современными очистными сооружениями. Такой прогресс привел к одной из проблем современности – охране биосферы от органических загрязнителей. В следствии чего, необходимость внедрения малоотходной и полностью безотходной технологий, а также современных очистных сооружений на сегодняшний день является актуальной задачей с точки зрения экологической и экономической целесообразности и ресурсоэффективного обращения с сырьем. Одним из наиболее токсичных загрязнителей является фенол. Сброс фенолсодержащих вод в водоемы ухудшает их общее санитарное состояние, оказывая пагубное влияние на живые организмы. В связи с ужесточением требований природоохранного законодательства к качеству и производственному контролю состава образующихся сточных вод возникла необходимость в подборе оптимальных способов очистки и обезвреживания фенолсодержащих вод. Биологическая очистка сточных вод, содержащих стойкие органические соединения, позволяют выполнить не только данные требования, но и достичь ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения, в том числе учитывая все современные тенденции в обеспечении техносферной безопасности. Для достижения поставленной цели для очистки производственных сточных вод с содержанием трудноокисляемых загрязняющих веществ было решено применить двухступенчатую систему очистки, состоящую из 2-х аэротенков, первый из которых – трехкоридорный комбинированный аэротенк с дифференцированной подачей сточной воды и централизованной подачей активного ила (рис. 1), а второй – двухкоридорный аэротенк-вытеснитель(рис.2).

Состав и количество производственных сточных вод, поступающих на очистку из многочисленных технологических цехов предприятия, очень резко могут отличаться во времени. Для повышения эффективности очистки необходимо выровнять нагрузку по количеству, pH, температуре и, прежде всего, по концентрации ЗВ в сточных водах [1].

С этой целью предусмотрены в предлагаемой технологической схеме технические устройства – усреднители, представляющие собой прямоугольные в плане железобетонные сооружения. За счет разного расстояния от входа жидкости (входного окна) до выхода (входа в диагональный лоток) жидкости из барботажной секции, происходит усреднение СВ, то есть в одно и то же время в диагональный лоток поступают СВ различных концентраций, pH и температуры (рис. 1).

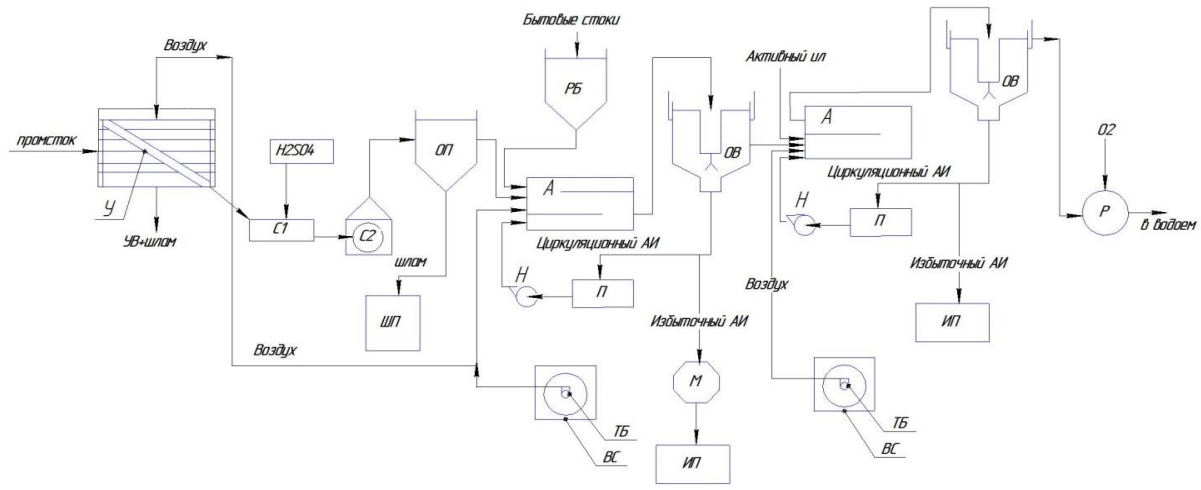


Рис. 1. Технологическая схема очистки производственных сточных вод
У – усреднитель, С1 – смеситель-нейтрализатор, С2 – станция приема и перекачки,
ОП – первичный вертикальный отстойник, ШП – шламовая площадка, А – аэротенк,
ОВ – вторичный вертикальный отстойник, Р – контактный резервуар,
БР- биологический реактор, М – метантенк, ИП – иловая площадка,
П – приемная камера циркуляционного АИ, Н – центробежный насос для перекачки
циркуляционного АИ, ВС – воздуходувная станция, ТВ – турбовоздуходувка

Задержанные углеводороды и выпавший на дно секций осадок (шлам), по мере накопления откачиваются специально смонтированными на площадке между усреднителями вакуумными и центробежными насосами в сборник углеводородов и шлама. Кроме усреднения (перемешивания) в усреднителях воздухом, осуществляется частичное окисление легкоокисляемых органических соединений и отдув в атмосферу легколетучих соединений, присутствующих в сточной воде (ацетон и др.) и предотвращение осаждения взвешенных веществ. Затем сточные воды из сборного диагонального лотка поступают самотеком в смеситель – нейтрализатор, куда кроме вод подается концентрированная серная кислота с массовой долей моногидрата около 92,5 % и воздух для перемешивания [2].

Нейтрализация щелочных производственных сточных вод производится с целью создания благоприятных условий для жизнедеятельности микроорганизмов активного ила в последующих сооружениях биологической очистки сточных вод. Затем вода поступает в первичный отстойник, где время пребывания сточных вод составляет около 2 часов. За это время происходит осаждение шлама - различных нерастворенных солей, образовавшихся в технологических цехах и в результате нейтрализации сточных вод серной кислотой. Осажденный в первичных горизонтальных отстойниках шлам периодически откачивается насосами шламовой станции на шламовые площадки.

Осветленные производственные сточные воды после отстойников попутно с регенерированным активным илом из регенераторов и с биогенными стоками через распределительный коридор самотеком поступают в аэротенки. Очищенные сточные воды вместе с активным илом из аэротенков поступают во вторичные вертикальные отстойники. Во вторичных отстойниках происходит разделение иловой смеси. Активный ил, за счет более высокой плотности по сравнению с водой, оседает на дно отстойника. Осветленная вода из отстойника идет на вторую ступень очистки - в двухкоридорный аэротенк-вытеснитель. В данный аэротенк помимо осветленной сточной воды так же поступает активный ил, специально адаптированный под окисление стойких органических загрязнителей, а именно - фенола.

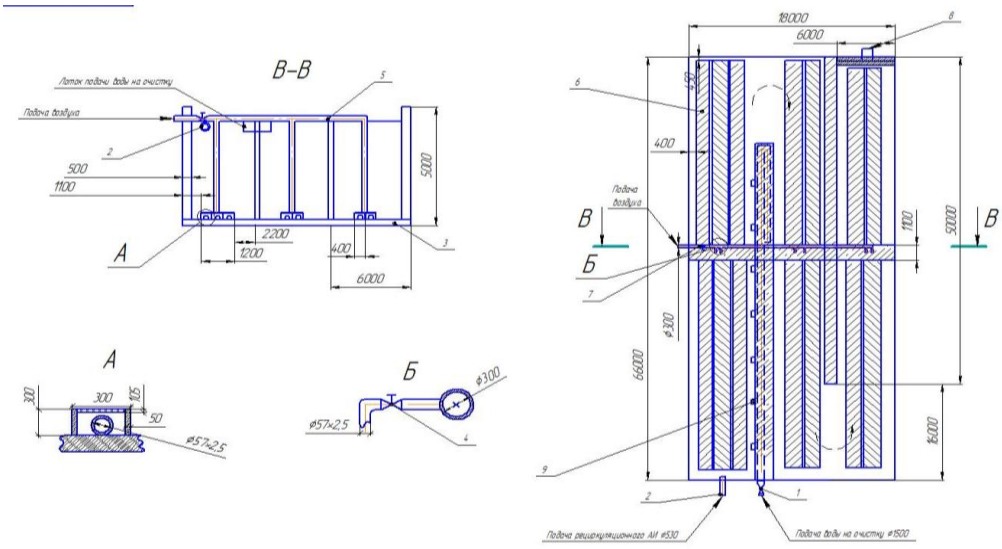


Рис. 2. Трехкоридорный комбинированный аэротенк
с дифференцированной подачей СВ и централизованной подачей АИ

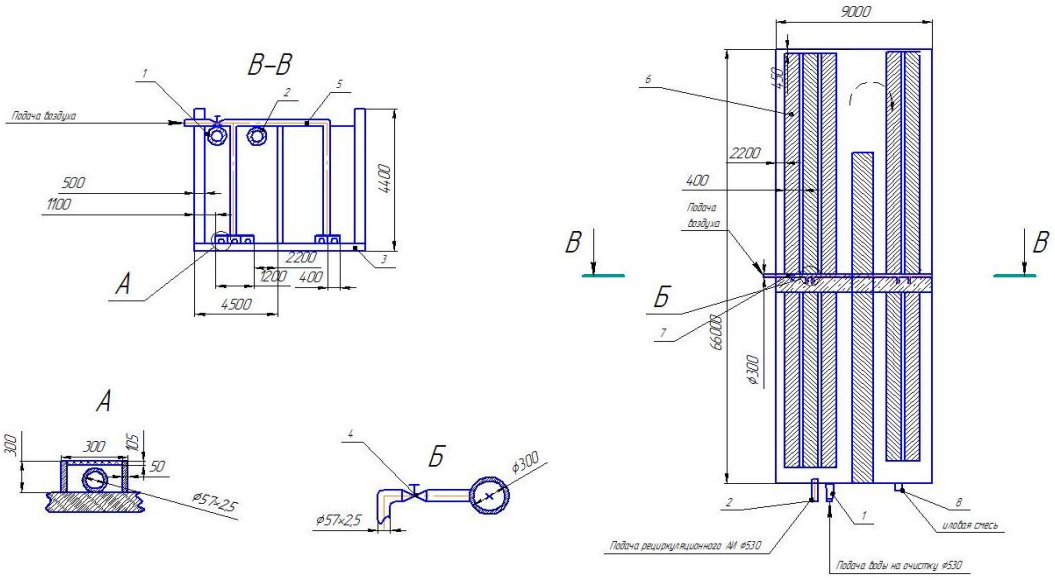


Рис. 3. Двухкоридорный аэротенк - вытеснитель

Смесь воды и активного ила поступают во вторичный отстойник, а после разделения иловой смеси вода поступает в контактный резервуар, где обогащается кислородом, и идет на сброс в водоем.

Таким образом, предложенная технологическая схема позволяет повысить степень очистки сточных вод от фенола с 95% (при одноступенчатой очистке) до 97% (при двухступенчатой очистке).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы). Учебное пособие. *Ветошкин А.Г., Таранцева К.Р.* – Пенза: Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2004. - с.: ил., библиогр.

2. Биотехнологии в системах очистки сточных вод. Учебно-методическое пособие/ *В.В. Кирсанов*.- Казань: Изд –во Казан. гос. техн. ун-та, 2016.

BIOLOGICAL TREATMENT OF WASTEWATER FROM PHENOL

Telyasheva L.
ltelyasheva@mail.ru
Supervisor: O. Egorova, R. Shipilova
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

In connection with the tightening of the requirements of environmental legislation to the quality and production control of the composition of the resulting wastewater, it became necessary to select the best methods for cleaning and neutralizing phenol-containing waters. Biological treatment of wastewater containing persistent organic compounds, allows not only to fulfill these requirements, but also to achieve MPC for fisheries of fisheries value and take into account all current trends in ensuring technospheric safety.

УДК 504.4

ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ ОЧИЩЕННЫХ ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА ВОД ТРАДИЦИОННЫМ И АЛЬТЕРНАТИВНЫМ МЕТОДОМ

Федотова А.Ю.
fedotova-anastasiya-00@mail.ru
Научный руководитель С.В. Степанова, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань)

В данной работе исследовалась фитотоксичность исходных и очищенных вод от ионов железа традиционным (раствор *NaOH* концентрацией 10 г/дм^3 и 0,1 %-ый раствор Праестола 611) и альтернативным (сточные воды, полученные в результате натронной варки целлюлозы из плодовых оболочек зерен ячменя) методами путем оценки всхожести растительных тест-объектов: ячменя *Hordeum vulgare*, овса *Avena sativa L.*, пшеницы *Tríticum aestivum*. Показано, что наименьшее значение по фитотоксичности достигнуто при очистке вод от ионов железа альтернативным реагентом.

Ионы железа поступают в природные водные объекты в результате прохождения любых вод на сброс по трубопроводам, применения коагулянтов при реагентной очистке вод, деятельности предприятий пищевой, химической, горно-добывающей, нефтехимической и других отраслей промышленности.

Не смотря на то, что ионы железа являются биогенными элементами, необходимыми для нормального функционирования и жизнедеятельности живых организмов, их повышенное поступление в окружающую среду может оказывать негативное воздействие на все составляющие биосферы. В связи с этим вопрос по определению его влияния на живые объекты, особенно растительные, которые входят в пищевые цепи многих живых организмов, является достаточно актуальным [1].

Известно, что в практике очистки вод от ионов металлов наиболее распространен реагентный метод. При этом методе они переходят в гидроксидные соединения путем повышения *pH* усредненных стоков до *pH* их гидратообразования с последующим осаждением, а затем фильтрацией. В качестве осадителей применяют оксиды, гидроксиды, соли щелочных, щелочноземельных и переходных металлов, сульфид- и фосфатсодержащие материалы [2].

В ранее проведенных работах [3-5] показано, что применение альтернативного реагента, который представляет собой сточные воды производства целлюлозы из плодовых оболочек зерен ячменя методом натронной варки, позволяет достичь результатов, позволяющих очистить модельные воды от ионов железа на 99 %.

В данной работе исследовалась фитотоксичность исходных и очищенных вод от ионов железа традиционным методом и альтернативным путем оценки всхожести растительных тест-объектов: ячменя *Hordeum vulgare*, овса *Avena sativa L.*, пшеницы *Tríticum aestivum*.

Очистка модельных вод проводилась следующим образом: в стакан приливалось 100 см^3 модельной воды (концентрация ионов железа 100 мг/дм^3), который помещался на магнитную

мешалку и небольшими порциями приливались традиционные реагенты (раствор *NaOH* концентрацией 10 г/дм^3 и 0,1 %-ый раствор Праестола 611) и альтернативный (сточные воды, полученные в результате натронной варки целлюлозы из плодовых оболочек зерен ячменя) до достижения pH=9±0,5 для полного осаждения ионов железа в виде гидрооксидов [6].

Оценка фитотоксичности проводилась в соответствие с ГОСТ 33061-2014: на дно чашек Петри помещались бумажные фильтры, увлажненные исследуемой водой, и равномерно распределялись зерна каждой культуры, по 8 штук в каждой из трех повторностей [7].

В течение всего срока наблюдений (14 суток) образцы периодически поливались дистиллированной (контроль), модельной и очищенных. На протяжении опыта отмечалась всхожесть семян, по окончанию – измерялись длина корней и надземной части растений [8] (таблица 1).

Таблица 1

Результаты всхожести семян

Образец	17.05.2019			23.05.2019			27.05.2019			Ср. знач.
	Овес	Пшеница	Ячмень	Овес	Пшеница	Ячмень	Овес	Пшеница	Ячмень	
Контроль	8	8	3	8	7	3	8	6	3	6,00
Модельная вода	6	7	3	7	8	3	6	5	3	5,33
Вода, очищенная традиционным методом	7	7	2	7	8	2	8	8	2	5,67
Вода, очищенная альтернативным методом	6	8	5	7	8	5	7	6	5	6,33

Из таблицы 1 видно, что наименьшее значение по фитотоксичности достигалось при очистке вод от ионов железа альтернативным реагентом, так как в его составе присутствует непрореагировавший гидрооксид натрия, который участвует в реакции осаждения ионов железа, но и биогенные элементы в виде алкоголятов натрия и лигнина, остатков целлюлозы, тем самым можно сказать, что очищенные воды не влияют на рост и развитие растений.

Таким образом, при сравнении фитотоксичности очищенных вод от ионов железа традиционным и альтернативным методом показано, что сточные воды, полученные в результате натронной варки целлюлозы из плодовых оболочек зерен ячменя, можно рекомендовать в практике очистки воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Копылова Л.В., Лескова О.А.* Содержание железа в некоторых природных объектах в условиях антропогенной нагрузки (забайкальский край) [Электронный ресурс] / *Л.В. Копылова.* – Режим доступа: https://www.science-education.ru/pdf/2016/6/25747.pdf, свободный.

2. Железо [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cnshb.ru/AKDiL/0033a/ base/ k0090006.shtm, свободный.

3. *Орлов Д.В., Латыпова А.Ш., Степанова С.В.* Очистка модельной воды от ионов железа (II) реагентом, полученным из плодовых оболочек зерен ячменя // Экология и рациональное природопользование аграрных и промышленных регионов: сб. докл. V Междунар. молодежной науч. конф., 7−8 нояб. 2017 г. / Белгор. гос. технол. ун-т. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. 249 с. С. 144-146.

4. *Орлов Д.В., Степанова С.В.* Альтернативный флокулянт из отходов злаковых культур для очистки вод от ионов железа // Сборник научных трудов молодых ученых, аспирантов, студентов и специалистов по итогам IX Молодежной экологической конференции «Северная Пальмира», 22-23 ноября 2018 г., Санкт-Петербург. НИЦЭБ РАН, 2018. С. 113-117.

5. *Орлов Д.В., Степанова С.В.* Очистка сточных вод химического производства от ионов железа (II) альтернативным реагентом, полученным из плодовых оболочек зерен ячменя // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды: сб. докл. Международ. науч.-техн. конф., Алушта, 3–7 июня, 2019 г. Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. Ч.1. С. 294-297.

6. *Штриплинг Л.О., Туренко Ф.П.* Основы очистки сточных вод и переработки твердых отходов: Учебное пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. 192 с.

7. *Зверев А.А., Зефиров Т.Л.* Статистические методы в биологии: учебно-методическое пособие. Казань: КФУ, 2013. 42 с.

8. ГОСТ 33061-2014 Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Наземные растения: тест на всхожесть семян и развитие проростков. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/1200115879, свободный.

ESTIMATION OF PHYTOTOXICITY OF PURIFIED FROM WATER IONS BY THE TRADITIONAL AND ALTERNATIVE METHOD

Fedotova A.

fedotova-anastasiya-00@mail.ru

Supervisor: S. Stepanova, Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor

(Kazan National Research Technological University, Kazan)

In this work, we studied the phytotoxicity of the original and purified water from iron ions with traditional (10 g / dm^3 NaOH solution and 0.1% Praestol 611 solution) and alternative (sewage obtained by soda pulping of fruit barley grain shells) methods by evaluating the germination of plant test objects: barley Hordeum vulgare, oats Avena sativa L., wheat Tríticum aestivum. It was shown that the lowest phytotoxicity value was achieved when water was purified from iron ions with an alternative reagent.

УДК 66

ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ДОПОЛНЕНИЯ В ВОДНЫЙ МОНИТОРИНГ РФ

Филиппов А.В.

antonfilippov@email.ua

Научный руководитель: В.В. Кирсанов, д-р техн. наук, профессор

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

В статье дана характеристика существующего в РФ водного мониторинга с точки зрения его практической результативности для снижения воздействия на природные водоемы.

Для комплексной оценки воздействия сбросов на водоем предложено контроль сбросов и воды водоемов по химическим ингредиентам дополнить токсилогическими и биологическими показателями и последующей реализацией профилактических инженерных мероприятий, разработанных по результатам комплексного мониторинга.

Действующий в настоящее время мониторинг качества очищенной воды после биологических очистных сооружений (БОС) и в водоеме - приемнике сточных вод, основанный на концепции предельно-допустимой концентрации (ПДК), не представляется возможным оценивать как экологически обоснованный по ряду объективных причин, основными из которых следующие:

1) ежегодно около 1000 новых химических соединений поступают на рынок. По оценкам Европейской комиссии по инвентаризации химических веществ (EINECS) количество новых веществ, используемых в промышленности и быту, достигает порядка 100000 и 90% из них не имеют никакой токсилогической информации [1];

2) несмотря на возрастающее количество применяемых химических веществ, попадающих в сточные воды и далее в водоем, контролируются не более 40 химических

показателей. Методами аналитической химии может быть определено 5-25% всех органических веществ, попадающих в сточные воды [1]. В РФ наиболее технически оснащенные лаборатории, осуществляющие государственный экологический контроль сточных вод, могут определять (то есть имеют технические средства измерения) около 100 гидрохимических компонентов [2]. На самом деле определяется, как правило, не более 25 показателей загрязняющих веществ из-за высокой стоимости анализов, недостатка квалифицированных кадров по причине низкой зарплаты, ибо зарплата работников очистных сооружений ниже зарплаты работников основных технологических цехов и так далее;

3) нормативы ПДК определяются в лабораторных условиях на изолированных популяциях тест-объектов по небольшому набору морфологических и физиологических факторов без учета их возможного взаимодействия, то есть ПДК - неаргументированная экстраполяция границ толерантности тестовых организмов в искусственно созданных условиях на естественно функционирующую биоту, где действуют десятки и сотни всевозможных факторов;

4) загрязняющие вещества, попадая в коллектор, далее на очистные сооружения и после в водоем, могут трансформироваться в значительно более токсичные соединения под влиянием эффектов синергизма (усиления действия) или аддитивности (суммирования воздействия). Синергическое действие факторов сточных вод наиболее опасно как для микроорганизмов БОС, так и для водной экосистемы, и соответственно - для человека;

5) норматив ПДК зачастую устанавливается на уровне 0,001мг/л и ниже, а методическое и приборное оснащение лабораторий не позволяет идентифицировать такие концентрации;

6) разработку перечней ПДК для водоемов различного назначения ведут различные ведомства, несогласованность действий которых приводит к неразберихе в практическом исполнении эксплуатационниками и контроле со стороны многочисленных надзорных органов (например, на хлорорганические соединения отсутствуют рыбохозяйственные ПДК и имеются только гигиенические, и пр.);

7) на многие соединения, в том числе являющихся практически постоянными ингредиентами сточных вод, в России не установлены нормативы (например, на азот аммонийный, БПК полное, общий органический углерод и др.);

8) многие компоненты сточных вод, особенно фармацевтической, микробиологической, химической, нефтеперерабатывающей и некоторых других отраслей промышленности, потенциально мутагенны и канцерогенны. Вероятность индуцированных мутаций пропорциональна концентрациям мутагенов, но смертельная мутация может быть вызвана и одной молекулой мутагена, изменившей структуру ДНК;

9) особую опасность для биоты представляют диоксины и предшественники диоксинов, количество которых зависит от концентрации хлора в сточной воде (в соответствии с требованиями СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения», пункт 6.223, доза остаточного хлора в обеззараженной воде после контакта должна быть не менее 1,5 мг/дм^3). Нормативы ПДК установлены только гигиенические и не на все хлоропроизводные соединения (Установлены МУ 2.1.5.800-99 на дихлорбромметан, 2,4,6-трихлорфенол, бромоформ). Особая опасность диоксинов заключается не столько в их токсичности, сколько в хроническом воздействии и отдаленных последствиях при малых дозах. Хлорорганические соединения обладают высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью. Оценка по индексу токсичности для дафний показала, что хлорированная вода является остротоксичной для этих тест-объектов [2];

10) на организмы, кроме химических веществ, отрицательно действуют и другие факторы, например: шум, вибрация, тепловое, радиационное, электромагнитное, биологическое загрязнения и так далее.

Перечисленные причины далеко не исчерпывают несовершенство нормирования по ПДК на основании физико-химических методов анализа.

Только комплексная оценка влияния загрязняющих веществ сточных вод по гидрохимическим, гидробиологическим показателям и оценка группы факторов риска по

основным нозологическим формам здоровья населения, проживающего в районах, прилегающих к месту сброса сточных вод крупного города, позволяет объективно определить последствия воздействия. Учет химических, токсикологических, биологических показателей, оценка состояния здоровья населения, как ответной реакции человека на состояние водной экосистемы, позволяет трансформировать бессистемные отдельные лабораторные анализы по соответствию ПДК, в истинный мониторинг, как систему наблюдений за сбросом сточных вод и влиянием их на водоем, оценки этого влияния, прогноза влияния, разработки и внедрения инженерных решений по минимизации влияния на водную экосистему [2].

Предлагается расширить классическое определение мониторинга, как понятия наиболее часто употребляемого (экологический мониторинг - система наблюдений, измерений, регистрации данных и прогноза) инженерными решениями по повышению эффективности очистки сточных вод.

Предложенное дополнение не является механическим суммированием предлагаемого с существующим требованием к мониторингу, а качественно меняет всю систему экологического мониторинга.

Принципиальность отличия заключается в том, что существующий мониторинг, в основном, сводится именно к наблюдению, оценке и прогнозу и который производится или государственными надзорными природоохранными органами или эксплуатационниками. Но, как показывает реальная жизнь, цели у тех и других – не всегда совпадают.

Первые сводят мониторинг к формализации по отдельным малосистемным химическим показателям биоочистки сточных вод и водоема в месте выпуска сточных вод по гидрохимическим анализам с последующей выдачей очередного предписания, которое зачастую невозможно выполнить, ибо оно основано на нормативах ПДК проверяющими, не всегда хорошо представляющими процесс биологической очистки и реальную технологически-аппаратурную, организационную и др. возможности выполнения производственниками формальных требований.

Вторые (производственники, то есть люди, непосредственно эксплуатирующие очистные сооружения), на своем «горьком» опыте убедившиеся неоднократно в том, что любая проверка надзорными органами кончается штрафом и выдачей предписания, которое ни по срокам исполнения его, ни по сути, исполнить невозможно, а от проверяющих ни какой поддержки не будет, в том числе ни рубля финансовой помощи (даже в рамках той суммы, которую предприятие регулярно отчисляет в виде экологических платежей), иногда вынуждены представлять скорректированные данные. Самостоятельно производственники ведут наблюдение и оценку, но прогнозировать экологическую ситуацию не могут в силу ограниченности финансовых, технических и прочих возможностей, поэтому их текущую работу мониторингом также назвать нельзя.

Действительно, ставшее уже традиционным и системным в России, «противостояние» надзорных государственных органов и производственников (кстати, это характерно не только для экологии, но и для других сфер производственной деятельности) не только не помогает улучшить экологическую ситуацию в стране, а иногда, к сожалению, оказывает отрицательное действие. «Отрицательность» заключается, прежде всего, в том, что указанное противостояние «завуалировано» под оболочкой внешнего благополучия и создает иллюзию значительного прогресса в природоохранной деятельности. Официально публикуемые отчетные цифры о состоянии природоохранной работы далеко не всегда соответствуют действительности, ибо, как уже говорилось, эти цифры в большей степени основываются на формальных «приглаженных» отчетах. Это прекрасно знают специалисты, эксплуатирующие очистные сооружения. Кроме того, постоянное увеличение количества чиновников «от экологии» в стране, в регионах, дублирование и неконкретность полномочий, бесконечная реструктуризация чиновничье - надзорного аппарата, не способствует консолидации законодательной, исполнительной власти и непосредственных исполнителей - производственников [2].

Реализация предложенной концепции экологического мониторинга «наблюдение - оценка - анализ и прогноз - разработка и реализация инженерных решений» во-первых, охватывает всю функциональную цепочку образования отходов в конкретной технологической установке и интенсификации процессов, связанных с очисткой отходов производства, начиная от лабораторного анализа и, заканчивая внедрением разработанных на основе результатов анализов и прогноза, технических мероприятий.

Во вторых, трансформирует мониторинг из инструмента наблюдения и констатации факта в систему совершенствования и управления экологической безопасностью на конкретных очистных сооружениях, так как предполагает непосредственное и систематическое участие, кроме государственных надзорных органов и технологов-производственников, биологов (гидробиологический контроль), медиков (влияние поллютантов на здоровье населения, проживающего в районе сброса сточных вод в водоем-приемник) и проектантов (так как инженерные мероприятия требуют разработки новых и изменения существующих проектных решений).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кирсанов В.В., Степанова Н.Ю., Смолко А.А.* Способ комплексного мониторинга района выпуска сточных вод с помощью гидробиологических методов анализа, // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - Самара, 2007.- С.64 - 76.

2. *Кирсанов В.В.* Теоретические и практические аспекты биологической очистки сточных вод в аэротенках. Монография. - Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010, 264с.

THE PROPOSED ADDITIONS TO THE WATER MONITORING OF THE RUSSIAN FEDERATION

Filippov A.

antonfilippov@email.ua

Supervisor: V. Kirsanov, Doctor of Technical Sciences, Professor

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

The article describes the existing in the Russian Federation water monitoring in terms of its practical effectiveness to reduce the impact on natural water bodies.

For a comprehensive assessment of the impact of discharges on the pond proposed control of discharges and water bodies of chemical ingredients to Supplement toxilogical and biological indicators and the subsequent implementation of preventive engineering measures developed by the results of integrated monitoring.

УДК 66

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СПОСОБОМ ДВУХЭТАПНОЙ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ПЕРСОНАЛА

Филиппов А.В.

antonfilippov@email.ua

Научный руководитель: В.В. Кирсанов, д-р техн. наук, профессор

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

В статье показаны недостатки традиционно сложившейся и существующей на опасных производственных объектах системы подготовки и последующей аттестации работников. Предложена система двухэтапной подготовки и аттестации, особенностями которой являются следующее: а) система учитывает не только теоретические знания действующих правил и норм по ПЭБ, но их соблюдение сдающим работником при эксплуатации конкретного технологического объекта; б) проверка знаний ПЭБ осуществляется в двух комиссиях - на первом этапе цеховая комиссия проверяет степень выполнения ПЭБ непосредственно на объекте: на втором этапе - заводская комиссия оценивает уровень знаний применительно к масштабам всего завода; в) представлена таблица с количественной градацией критериев оценки состояния ПЭБ.

Образование в области промышленной и экологической безопасности – совокупность теоретических знаний и практических навыков, формирующих у работника предприятия представление о промышленной и экологической безопасности, об окружающей природной среде и возможных последствий развития аварийной ситуации по схеме: предотклонение → инцидент → авария в пределах установки → авария в границах предприятия → авария с выходом за пределы предприятия [1].

Необходимость изменения традиционно сложившейся системы подготовки и повышения квалификации кадров на опасных производственных объектах, обусловлена следующими факторами:

1) опасные производственные объекты в связи с применением высокотоксичных, вредных и пожароопасных видов сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, занимают доминирующее положение по загрязнению воздуха атмосферы, литосферы, воды водоемов и подземных источников, по высокой степени потенциальной опасности аварий;

2) система подготовки и повышения квалификации эксплуатационников, заключающаяся в «заучивании» догматических требований многочисленных нормативно-технических документов по промышленной и экологической безопасности, не обеспечивает следующие основные требования к уровню профессионализма: а) умению не допустить выхода технологического процесса за границы «предотклонения» от норм; б) в случае развития предотклонения в инцидент и аварию профессиональными действиями минимизировать экологический, материальный ущерб;

3) взаимообусловленность требований правил, норм по ПЭБ и обязательности исполнения их применительно к технологическому процессу, аппаратурному оформлению его с учетом средств противоаварийной защиты локальных систем очистки газовых выбросов, сточных вод, влияния на ОС отдельных поллютантов и смеси с учетом процессов аддитивности, синергизма;

4) единства с точки зрения технических и организационных мер подготовки, функционирования и возможных последствий при нештатных ситуациях, вызванных незнанием или неприменением требований обеспечения ПЭБ;

5) приоритетность практического исполнения норм промышленной и экологической безопасности над теоретическими знаниями, оптимальность решения и эффективность применения которых основывается на целенаправленном их применении.

Разработанная автором и внедренная на химическом предприятии «Казаньоргсинтез» система предусматривает двухэтапную организационную проверку знаний (рис. 1) [2].

$I^{й}$ этап состоит в свою очередь из двух уровней:

уровень Iа - проверка практического состояния ПЭБ в подразделении, за состояние которого отвечает аттестуемый, последующего расчета усредненного показателя уровня состояния ПЭБ по разработанной методике. Результаты оформляются актом;

уровень Iб - проверка знаний технологического процесса, аппаратурного оформления, характеристики опасностей применяемого сырья, материалов, конечных продуктов; планов локализации аварийных ситуаций (ПЛАС) и т.д. Проверка знаний на уровне Iб осуществляется комиссией подразделения и оформляется протоколом.

$II^{й}$ этап - заключается в проверке знаний требований нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов в области ПЭБ. $II^{й}$ этап проводится комиссией предприятия только при условии положительных результатов предыдущего этапа – положительного акта на уровне $I^{а}$ и удовлетворительных знаний на уровне $I^{б}$.

Организация системы проверки знаний на различных этапах

На $1^{м}$ этапе подлежит проверке руководимое аттестуемым подразделение по всем критериям (табл. 1), с учетом специфики подразделения. (Перечень критериев может быть расширен и (или) дополнен в соответствии со спецификой предприятия).

По результатам проверки оформляется акт и рассчитывается по формуле (1) усредненный показатель ($П_у$) состояния ПЭБ в подразделении, значение которого является допуском (если $П_у \geq 0,8$) или не допуском ($П_у < 0,8$) к проведению проверки знаний

(аттестации) на следующем этапе.

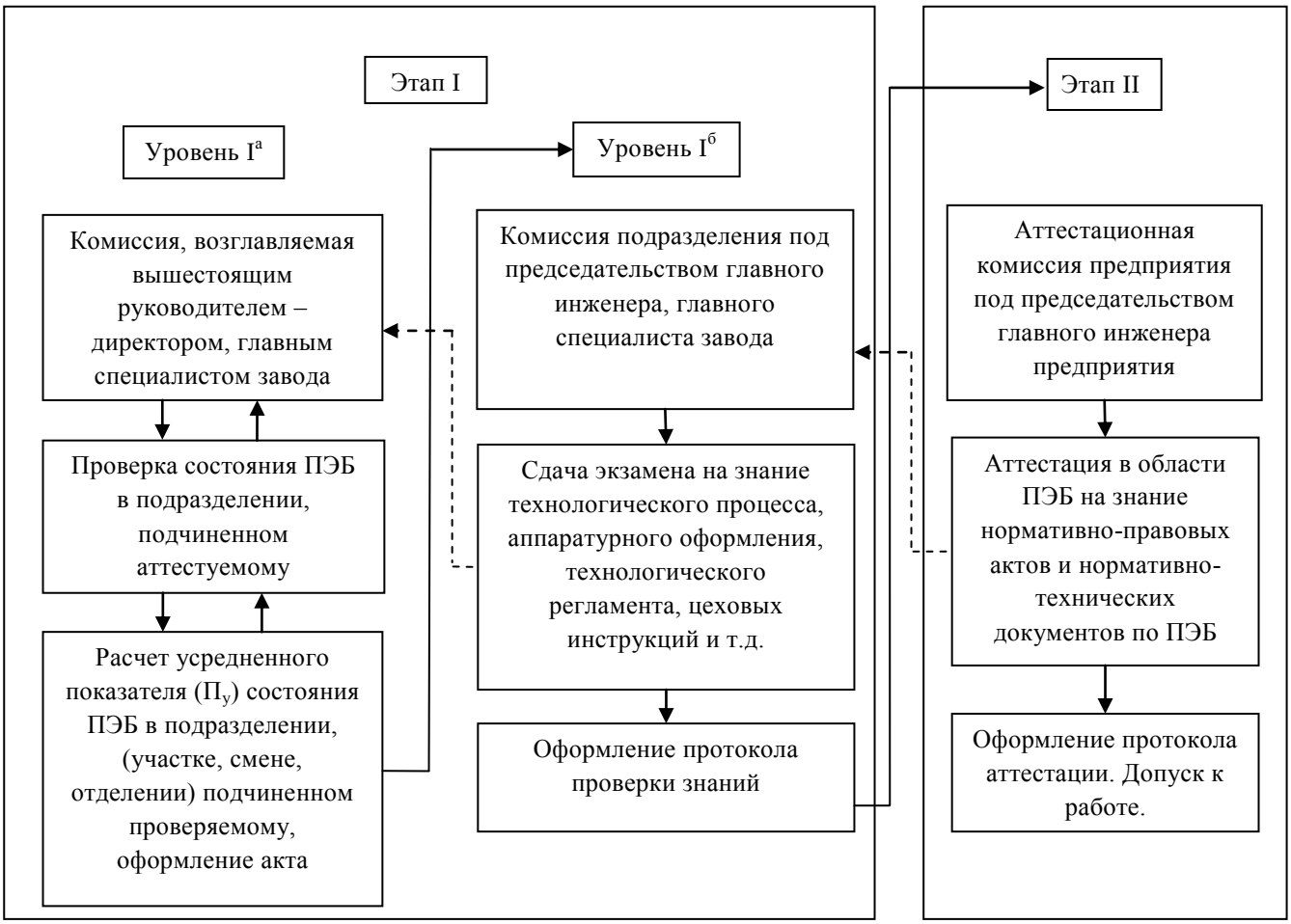


Рис. 1. Схема реализации двух этапной проверки знаний и аттестации руководителей, специалистов предприятия в области эколого-промышленной безопасности (----- связи между уровнями, этапами при положительных результатах, связи между уровнями, этапами при отрицательных результатах - возвращение на предыдущий этап)

После проверки подразделения аттестуемого и при наличии положительного результата, осуществляется проверка знаний:

1) технологического процесса, аппаратурного оформления, характеристик применяемого сырья, полупродуктов, продуктов, системы противоаварийной защиты (ПАЗ) и т.п.

2) проверка знаний соответствующих разделов технологического регламента, инструкций по рабочим местам, общезаводских инструкций, должностных обязанностей, ПЛАС и т.п.

Результаты проверки знаний оформляются протоколом (с приложением протокола вопросов-ответов).

1й этап проверки организуется не менее чем за 3 месяца до истечения срока очередной (внеочередной) аттестации.

2й этап (при условии положительного результата на предыдущем этапе проверки) - производится комиссионно проверка знаний следующих документов:

1) законов в области ПЭБ;

2) нормативно-правовых актов и документации (правил, РД, МУ, инструкций, норм, регламентов и т.д.) профильного ведомственно - функционального назначения.

Результаты проверки оформляются протоколом.

Лица, не прошедшие проверку знаний (аттестацию) на 1м или 2м этапах, должны

пройти ее повторно в течение месяца.

Вопрос о соответствии руководителя (специалиста) занимаемой должности, не прошедшего аттестацию повторно, решается руководством предприятия в порядке, установленном трудовым законодательством РФ.

Таблица 1

Таблица оценки состояния промышленной и экологической безопасности в подразделениях общества

№ п/п	Критерии состояния ПЭБ	Классификация признаков	Численное значение градаций признаков
1	2	3	4
	Экологические критерии:	1.1. Оборудование контейнеров для временного хранения (покраски, надписи). 1.2. Эксплуатация контейнеров (соответствие содержимого назначению, заполненность и т.п.). 1.3. Размещение отходов, металлолома, материалов, запчастей, вне специально оборудованных идентифицированных площадок. 1.4. Соответствие количества образования отходов нормативным документам и порядок регистрации в подразделении.	1, 2, 3, 4, 5
1.	Размещение, хранение отходов производства и потребления		
2.	Выбросы в атмосферу	2.1. Эффективность работы локальных пылегазоулавливающих установок. 2.2. Содержание пылегазоулавливающих установок, вентиляционного оборудования. 2.3. Порядок ведения ремонтной и эксплуатационной документации на установки. 2.4. Отсутствие нерегламентированных выбросов в атмосферу, на факел.	
3.	Сбросы стоков в канализацию и на рельеф местности	3.1. Отсутствие нерегламентированных сливов в химзагрязненную, бытовую, ливневую канализации, на рельеф местности. 3.2. Состояние системы учета количества и качества химзагрязненных, ливневых стоков в цехе (смене). Документированность процессов. 3.3. Состояние всех видов канализации в цехе и на рабочих местах. 3.4. Эффективность работы локальных очистных установок. 3.5. Техническое состояние локальных очистных установок и ведения тех. документации на локальные установки. 3.6. Содержание всех видов канализации в цехе (смене). (Состояние трапов, сеток, указателей, наличие лючков и пробоотборников на контрольных колодцах, очистка колодцев и подходов к ним).	
		4.1. Проведение 1-го, 2-го, 3-го ступеней техническо-профилактической работы по ПЭБ в подразделении, эффективность работы и документированность системы. 4.2. Соответствие проведения опасных видов работ (газоопасных, огневых, ремонтных работ) требованиям правил, норм и порядок оформления нарядов-допусков, журналов регистрации на данные виды работ. 4.3. Порядок приема, хранения и обращения	
4.	Организация техническо-профилактической работы по ПЭБ		

		ЛВЖ, ГЖ, токсичных продуктов, и оформление соответствующей технической документации. 4.4. Порядок учета и разбора технологических нарушений. 4.5. Порядок обслуживания предохранительных клапанов, воздушек и ведение технической документации. 4.6. Отсутствие инцидентов, аварий, травм 4.7. Эффективность рабочих и аварийных приточно-вытяжных систем. Документация (паспорта, ремонтные карты и др.) 4.8. Качество проведения учебно-тренировочных занятий по ПЛАС и ведение документации по разбору занятий. 4.9. Порядок сдачи-приема смены по перечню особо опасных стадий техпроцесса. 4.10. Состояние блокировок, сигнализации, ведение технологического процесса. 4.11. Порядок контроля за состоянием воздушной среды на рабочих местах, регистрация в журналах и на стенде цеха. 4.12. Своевременность замеров физ. и хим. факторов и регистрация. Наличие графиков. 4.13. Ведение санитарно-технического паспорта в цехе.	

Перед проверкой знаний и аттестации в области ПЭБ, вышестоящий руководитель проверяемого подразделения оценивает значение градаций признаков по табл. 1 исходя из должностных обязанностей аттестуемого и определяет усредненный показатель уровня ПЭБ в подразделении (смене, участке, отделении, цехе, службе, заводе), подчиненном аттестуемому, по следующему уравнению:

$$П_у = \frac{\sum П_г}{n \cdot 5}, \quad (1)$$

Где $П_у$ - усредненный показатель состояния ПЭБ в подразделении; $П_г$ - численное значение градации признаков (может принимать значение (оцениваться) 1, 2, 3, 4, 5), определяется по табл. 1.; n - количество классифицируемых признаков из табл. 1; 5 - максимальное значение признака.

Исходя из табл. 1. и уравнения (1) $П_у$ может варьироваться в пределах 0,2 (состояние ПЭБ неудовлетворительное) до 1,0 (состояние удовлетворительное).

На основании значения $П_у$, принимается решение о возможности допуска, аттестуемого к последующей проверке знаний, аттестации в области ПЭБ или дается дополнительный срок для устранения нарушений в подразделении (повышения $П_у$ до значения как минимум - 0,8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кирсанов В.В.* Основы промышленной и экологической безопасности опасных производственных объектов. Монография. Казань: Изд-во Казан.гос. техн. ун-та, 2011. 480 с.

2. *Кирсанов В.В.* Парадигма психологии промышленной безопасности. / Казань: Изд-во «Экоцентр», 2007. 172 с.

IMPROVING SAFETY METHOD OF TWO-STEP VERIFICATION KNOWLEDGE OF OPERATING PERSONNEL

Filippov A.
antonfilippov@email.ua
Supervisor: V. Kirsanov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The article shows the shortcomings of the traditional and existing at hazardous production facilities system of training and subsequent certification of workers. The proposed system two-stage training and certification, which are: a) the system takes into account not only theoretical knowledge of the applicable rules and regulations of the HSE, but their observance of the dealer employee in the operation of the specific process object; b) verification of the knowledge of the PES is carried out in two commissions - at the first stage, the shop Commission checks the degree of implementation of the PES directly on the site: at the second stage , the factory Commission assesses the level of knowledge in relation to the scale of the entire plant; C) a table with a quantitative gradation of the criteria for assessing the state of the PES.

УДК 665.61 : 628.16 : 503.36

ОЧИСТКА ВОД ОТ РАСТВОРЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ РАСТИТЕЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ

Хусаинова А.А., Султанова А.Ф.
khusainova.lina2018@yandex.ru, alb.sultan@yandex.ru
Научный руководитель: С.В. Степанова, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технологический университет, г.Казань)

Аннотация: в работе исследована очистка вод от растворенных нефтепродуктов в динамических условиях путем использования в качестве фильтрующей загрузки отходов злаковых культур (плодовых оболочек пшеницы, ячменя и овса) и измельченного смешанного листового опада. Проведена модификация поверхности сорбционных материалов на основе растительных отходов 1 %-ным раствором серной кислоты, а также в потоке в потоке высокочастотной низкотемпературной плазмы в потоке аргон-пропан. Показано, что наилучшая эффективность очистки модельных вод от нефти достигнута при применении в качестве фильтрующей загрузки образцов плодовых оболочек ячменя, обработанных в слабом растворе серной кислоты.

Адсорбционный метод является наиболее эффективным способом очистки сточных вод от растворенных нефтепродуктов до значения ПДК, кроме того он используется для удаления эмульгированных углеводородов, извлечения и утилизации ценных компонентов, а также применяется в очистке вод в системе оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Чаще всего при адсорбционной очистке воды используются активные угли из-за их высокоразвитой поверхности, имеющей большое сродство к органическим веществам. Недостатком их применения является то, что это дорогие материалы, необходима их регенерация, что увеличивает себестоимость процесса очистки.

В последние годы ведутся исследования по замене дорогих промышленных адсорбентов на сорбционные материалы растительного происхождения, основой которых является целлюлоза - легко поддающийся модификации биополимер (шелуха гречки, подсолнечника, овса и риса, скорлупа грецкого ореха и арахиса, кукурузные початки, отходы переработки трав, листовой опад, солома злаковых культур, камышовая сечка, соцветия тростника, опилки и другие целлюлозосодержащие реагенты) [1, 2].

В Республике Татарстан на ОАО «Набережночелнинский элеватор» выращивается значительное количество злаковых культур и как следствие образуется большой перечень растительных отходов: плодовые оболочки зерен пшеницы (ПОЗП), овса (ПОЗО), ячменя (ПОЗЯ), которые ежегодно образуются, хранятся на территории предприятия, являясь источником биологического загрязнения окружающей среды, сжигаются либо

выбрасываются в отвал, в результате чего дополнительно создается экологическая нагрузка [3, 4].

Ранее проводились исследования по удалению пленки нефти с поверхности воды с помощью нативных [5, 6], химически [7] и модифицированных плазмой [8-11] растительных отходов, при этом эффективность очистки от нефти достигала 99,9 %. Так как адсорбционные материалы на их основе показали хорошие результаты, то в данной работе они исследовались в качестве адсорбционно-фильтрующей загрузки для очистки вод от растворенной нефти.

Для проведения фильтровально-сорбционной очистки использовали модельные растворы, содержащие нефть и дистиллированную воду. Для этого в воду добавляли нефть с расчетом на 1 дм^3 воды 3 см^3 нефти при постоянно перемешивании. Через каждые 20 мин после начала фильтрации через колонку (высота 30 см и диаметром 3 см) с образцами (расход 3 см^3/мин) отбирались пробы очищенной воды, и определялась эффективность очистки воды от нефти для каждой загрузки.

Модификация поверхности растительных отходов проводилась следующим образом: плоскодонные колбы объемом 250 см^3 наливалось 200 см^3 1 % раствора H_2SO_4 и помещалось 20 г сорбционного материала. Содержимое колбы тщательно перемешивалось в течение 1 ч на качалке. По окончании контактирования сорбционный материал удалялся, несколько раз промывался дистиллированной водой до нейтральной среды, сушился при температуре 110±5 ˚С до постоянной массы.

Обработка образцов плазмой проводилась следующим образом: образцы по 10 г в мешочках из марлевого материала помещались в вакуумную камеру плазменной установки. Под действием электромагнитного поля проводился нагрев плазмообразующего газа до состояния плазмы. Режим плазменной обработки регулировался путем изменения расхода газа, напряжения, силы тока на аноде, давления в разрядной камере, длительности обработки и вида плазмообразующего газа (таблица 1).

Таблица 1

Режим модификации

Газ носитель	Соотношение	P, Па	Ia, A	Ua, кВт	t, мин	Q, г/сек
Аргон-пропан	70:30	26,6	0,5	7,5	1	0,06

На первом этапе работы исследовалась очистка вод от нефти в динамических условиях нативными адсорбционными материалами. В таблице 2 приведены результаты исследования.

Таблица 2

Остаточная концентрация нефти в воде после проведения фильтровально-сорбционной очистки нативными образцами

Время, мин	ПОЗП (m=16,21 г)	ПОЗО (m=12,29 г)	ПОЗЯ (m=10,43 г)
20	0,014	0,03	0,022
40	0,06	0,05	0,083
60	0,07	0,08	0,1
80	0,08	0,1	0,15
100	0,09	0,15	0,19
120	0,1	0,19	0,2
140	0,15	0,21	0,21
160	0,21	0,25	0,23
180	0,23	0,30	0,25
200	0,36	–	0,31
220	0,45	–	0,36
240	0,58	–	0,4
260	–	–	0,45
280	–	–	0,55

На втором этапе работы исследовались модифицированные плазмой образцы (таблица 2).

Таблица 2

Остаточная концентрация нефти в воде после проведения фильтровально-сорбционной очистки плазменномодифицированными образцами

Время, мин	ПОЗП (m=18,5 г)	ПОЗО (m=14,5 г)	ПОЗЯ (m=12,5 г)
20	0,23	0,05	0,41
40	0,18	0,08	0,26
60	0,2	0,15	0,25
80	0,43	0,18	0,25
100	0,6	0,2	0,56
120	0,63	0,21	0,55

Третьим этапом работы исследованы образцы, модифицированные 1 % раствором серной кислоты (таблица 3).

Таблица 3

Остаточная концентрация нефти в воде после проведения фильтровально-сорбционной очистки кислотомодифицированными образцами

Время, мин	ПОЗП (m=18,63 г)	ПОЗО (m=13,65 г)	ПОЗЯ (m=11,5 г)
20	0,03	0,03	0,016
40	0,1	0,03	0,03
60	0,12	0,04	0,07
80	0,12	0,05	0,08
100	0,15	0,05	0,1
120	0,48	0,05	0,12
140	0,86	0,06	0,15
160	0,91	0,06	0,23
180	1,45	0,08	0,16
200	–	0,1	0,21
220	–	0,13	0,25
240	–	0,13	0,28
260	–	0,15	0,45
280	–	0,16	0,56
300	–	–	0,71

Полученные данные показывают, что эффективность очистки воды от нефти у химически модифицированных образцов выше, чем у нативных и модифицированных плазмой образцов. Кроме того, рассматривая время работы фильтров можно сказать о том, что наибольшая продолжительность работы достигается при использовании в качестве фильтрующей загрузки образца ПОЗО, обработанного 1 %-ным раствором серной кислоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Каменщиков Ф. А., Богомольный Е. И.* Нефтяные сорбенты. Москва-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика". 2014. 268 с;

2. *Долгих О.Г., Овчаров С.Н.* Использование углеродных адсорбентов на основе растительных отходов для очистки нефтезагрязненных сточных вод // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2010.- №1 (22). С. 6-12.

3. *Левчук А. А.* Разработка способа получения полисахаридного сорбента с улучшенными экологическими характеристиками для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов Автореф. дис. на соиск степ. канд. техн. наук. Краснодар. 2012. 20 с.

4. *Долгих О.Г., Овчаров С.Н.* Получение нефтесорбентов карбонизацией лузги подсолнечника // Экология и промышленность России. 2011. Ноябрь. -С. 4-6.

5. *Низамов Р.Х.* Использование отходов растительного происхождения в качестве сорбентов нефти / Р.Х. Низамов, С.В. Степанова, И.Г. Шайхиев, С.В. Фридланд // Безопасность жизнедеятельности. 2010. № 4. С. 28-31

6. *Алексеева А.А.* Применение листового опада в качестве сорбционного материала для ликвидации аварийных нефтяных разливов / А.А. Алексеева, С.В. Степанова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 7. С. 9-13.

7. *Доможиров В.В.* Исследование возможности увеличения гидрофобных свойств шелухи овса растворами химических реагентов / В.В. Доможиров, С.В. Степанова, И.Г. Шайхиев // Экологические проблемы горнопромышленных регионов: материалы докладов и выступлений участников Международной молодежной конференции (12-13 сентября 2012 года). Казань, 2012. С. 101-107

8. *Доможиров В.В.* Исследование удаления нефтяных пленок с водной поверхности плазмообработанными отходами злаковых культур. 1. Лузгой овса / В.В. Доможиров, С.В. Степанова, И.Г. Шайхиев, И.Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 12. С. 110-118

9. *Трушков С.М.* Исследование удаления нефтяных пленок с водной поверхности плазмообработанными отходами злаковых культур. 2. Лузгой пшеницы / С.М. Трушков, С.В. Степанова, И.Г. Шайхиев, И.Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 13. С. 129-136

10. *Кондаленко О.А.* Исследование удаления нефтяных пленок с водной поверхности плазмообработанными отходами злаковых культур. 3. Лузгой ячменя / О.А. Кондаленко, С.В. Степанова, И.Г. Шайхиев, И.Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 15. С. 244-251

11. *Шаймарданова А.Ш.* Исследование влияния плазменной обработки на сорбционные свойства березового опада по отношению к нефти / А.Ш. Шаймарданова, С.В. Степанова, И.Г. Шайхиев // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 14. С. 215-218

12. ПНД Ф 14.1:2.116-97 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных и сточных вод методом колоночной хроматографии с гравиметрическим окончанием / ГУАК Госкомэкологии России. Мин-во ООСи ПР РФ. М., 2004 г. 18 с.

CLEANING OF WATER FROM DISSOLVED PETROLEUM PRODUCTS BY MODIFIED PLANT WASTE

Khusainova A.A., Sultanova A.F.

khusainova.lina2018@yandex.ru, alb.sultan@yandex.ru

Supervisor: S.V. Stepanova, Associate Professor, candidate of technical sciences

(Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technological University", Kazan)

Annotation: In this work, the purification of water from dissolved oil products under dynamic conditions was investigate by using cereal crops wastes (fruit shells of wheat, barley and oats) and crushed mixed leaf litter as a filter charge. The surface of sorption materials was modified on the basis of plant waste with a 1% solution of sulfuric acid, as well as in a stream in a stream of high-frequency low-temperature plasma in a stream of argon-propane. It was show that the best cleaning efficiency of model water from oil was achieved when using as a filtering load samples of fruit barley shells treated in a weak solution of sulfuric acid.

УДК 621.43

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТОПЛИВ

Цой А.Б., Саматов А.А.
a_tsoi1@mail.ru
Научный руководитель: О.Н. Рожко, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В статье рассмотрены преимущества применения и развития перспективных экологичных автомобильных топлив.

Цель исследования – дать оценку альтернативным видам топлива, которые имеют значительные преимущества для сокращения выбросов парниковых газов и загрязняющих веществ. Кроме того, они помогают уменьшить зависимость от потребления ископаемого топлива в транспортной сфере. Переход от нынешних видов топлива к альтернативным видам топлива требует изменения топливной инфраструктуры.

Задача – выполнить анализ альтернативных видов транспортного топлива и инфраструктуры, которые, будут играть решающую роль в будущем транспортной сферы, будут развиваться в странах мира и регионах.

Электромобили обладают потенциалом смягчения последствий в силу своей энергоэффективности и особенно в тех случаях, когда их энергия вырабатывается из низкоуглеродистых источников. Электромобиль играет важную роль в декарбонизации транспортного сферы. Например, по оценкам МЭА (Международное энергетическое агентство), три четверти всех продаж транспортных средств к 2050 году должны быть электрическими, с тем чтобы обеспечить 21%-ное сокращение выбросов, связанных с энергетикой, в транспортном сфере, необходимое для преодоления сценария, в котором среднее глобальное повышение температуры ограничено 2°c (IEA/EVI). Электромобили преобразуют около 59%-62% электрической энергии из сети в мощность на колесах-обычные бензиновые автомобили преобразуют только около 17%-21% энергии, хранящейся в бензине, в мощность на колесах

Водород наиболее устойчив при производстве возобновляемой электроэнергии. Технология выигрывает от более высокой энергоэффективности по сравнению с обычными двигателями внутреннего сгорания. Энергоэффективность топливного элемента обычно составляет 40-60%. Его потенциал смягчения, как правило, считается значительным, но зависит от производства водородного топлива и других соображений, связанных с производством транспортных средств. В свете своей относительной незрелости, эта технология, однако, только имеет долгосрочный потенциал. Потенциальное воздействие биотоплива на смягчение последствий должно оцениваться путем сопоставления с другими энергетическими системами с использованием методологий анализа жизненного цикла (ДМС).

А возобновляемый характер биотопливного сырья предполагает потенциальную экономию выбросов парниковых газов, необходимо учитывать и другие аспекты, например, изменения в землепользовании. Потенциал смягчения последствий изменения климата может быть оптимизирован путем установления строгих требований. В своей недавней технологической дорожной карте МЭА предлагает экономию порядка 20-80% при вытеснении природного газа и дизельного топлива и еще больший диапазон при вытеснении бензина. В своем сценарии "голубой карты" ЭТП, в котором устанавливается цель сокращения выбросов CO2, связанных с энергетикой, на 50% к 2050 году по сравнению с 2017 годом, МЭА оценивает, что на биотопливо будет приходиться 2,1 ГТ из общего сокращения выбросов на 9 ГТ в транспортной сфере.

Природный газ обладает некоторым потенциалом смягчения по сравнению с

традиционными видами топлива, такими как бензин и дизельное топливо. Например, МЭА оценивает среднее сокращение выбросов CO2 на 25% для транспортных средств малой грузоподъемности при вытеснении бензина СПГ (МЭА). Тем не менее для достижения амбициозной декарбонизации транспортной сферы МЭА отмечает, что потребуется приверженность таким источникам, как биометан или биосинтетический газ.

СНГ может обеспечить определенный потенциал для сокращения выбросов по сравнению с бензином и дизельным топливом, поскольку в нем содержание углерода ниже, чем в бензине. Однако это частично компенсируется более высоким расходом топлива. Важным фактором, определяющим его потенциал в области смягчения последствий, является источник СНГ; выбросы парниковых газов в атмосферу резко возрастают в ходе международных перевозок.

Появление и внедрение альтернативных транспортных технологий на глобальных рынках, очевидно, зависит от затрат, конкурентоспособности и других экономических соображений.

Цены на ископаемое топливо, например, являются важным ориентиром для поглощения альтернативной энергии, включая альтернативные виды топлива, поскольку бизнес-аргументы в пользу альтернатив будут слабее, когда цены на ископаемое топливо будут ниже. Однако для некоторых видов биотоплива более высокие цены на топливо также влияют на удобрения и другие сельскохозяйственные расходы. Поэтому бизнес-кейс для некоторых видов биотоплива (например, тростникового этанола) менее чувствителен к изменениям цен на сырую нефть. В основном из-за текущих низких цен на нефть количество гибридных автомобилей, проданных в США в 2018 году, составляет всего 8%, где 10% ожидалось в 2017 году

Анализ показывает, что дальнейшее сокращение расходов, как ожидается, для большинства альтернативных видов топлива до 2030 года. В частности, ожидается значительное снижение стоимости водородного топлива по мере развития технологии. Природный газ на основе ископаемых видов топлива, а также уголь и синтетическое топливо на основе природного газа являются наиболее конкурентоспособными по стоимости с бензином. Этанол сахарного тростника, относительно зрелая технология, также рентабелен, даже с относительно низкой незрелой нефтяной котировкой. Электроэнергия, в частности, имеет значительно более низкие затраты на вождение, чем бензин и для всех источников энергии. Биотопливо, природный газ и синтетическое топливо также могут стать конкурентоспособными. Однако водород, как ожидается, станет конкурентоспособным только тогда, когда технология созреет в свете высоких цен на топливо. Большинство альтернатив требуют более высоких первоначальных инвестиций в автомобильную технологию. Однако для некоторых видов биотоплива (например, этанол) инвестиции на стороне транспортного средства являются незначительными, где необходимое топливо или топливная инфраструктура часто дороже. Тем не менее, по ряду причин эти инвестиции стимулируются правительствами. Важными факторами являются занятость, качество воздуха, безопасность поставок или предоставление выхода для неиспользуемых видов топлива (например, природного газа или СНГ). Для электрического транспортного средства основным компонентом затрат является производство и разработка аккумуляторных батарей, что в настоящее время удваивает производственные затраты по сравнению с обычными транспортными средствами. Расходы также быстро снижаются. В то время как большинство европейских OEMs зависят от производства батарей из Китая, Tesla использует другой подход для производства батарей в США, поддерживаемый Panasonic. Топливные элементы стоят еще дороже, и обычно топливная система транспортных средств, работающих СПГ и СНГ, находится между биотопливом и батареями. Инфраструктурные затраты на топливо обычно разделяются на несколько частей, поэтому "очень дорогая" заправочная станция не превышает среднюю стоимость на энергию.

Цена за поставляемое топливо. Например, Tesla предлагает свои (кВт*ч) через станции бесплатно, зная, что 90% электроэнергии будет поставляться из домашних зарядных

устройств, и их основным бизнесом является продажа автомобилей. С другой стороны, FastNed хочет иметь премиальную цену на своих быстрых зарядных устройствах на шоссе, что является их основной бизнес-моделью.

Считается типичным, что компании должны платить за инвестиции в электрическую связь для зарядки EV или береговую электроэнергию, в то время как для других видов топлива и для потребителей это не так. Изменение финансового положения стран явно сказывается на освоении альтернативных видов топлива. Например, в Бразилии, где бензин является предпочтительным топливом (через государственное вмешательство) по сравнению с этанолом в 2017 году, чтобы бороться с инфляцией. Россия видит аналогичные проблемы из-за снижения доходов от экспорта энергоресурсов с более низкой стоимостью и санкции Запада.

По результатам исследования можно сделать выводы, что использование альтернативных видов топлива благоприятно влияет на окружающую среду, только требует изменения в экономической сфере и инфраструктуры производства альтернативных видов топлива в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Назаренко Л.В.* Биотопливо: история и классификация видов биотоплива // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2012. № 2. С. 16–33

2. *Синяк Ю. В., Некрасов А. С., Воронина С. А.* и др. Топливно-энергетический комплекс: возможности и перспективы // Проблемы прогнозирования. 2013. № 1. С?

3. General Motors. Перспективные автомобильные топлива. Пер. с англ. под ред. Черткова Я.Б. М.: Транспорт, 1982 [Электронный ресурс] https://ru.b-ok.org/book/2389387/560f0a Режим доступа: свободный (дата обращения с 11.05.2019 по 13.05.2019).

4. *Павлова, Е. И., В.К. Новиков* Экология транспорта. – М.: Юрайт, 2006. 479 с.

5. *Борс Н.И., Муратов Д.Ш., Пимукова Л.А.* Электромобили как транспорт будущего// Сборник материалов II Региональной студенческой научно-практической конференции с всероссийским участием. Альметьевск, 20 ноября 2015. – С. 158–160.

PROSPECTS OF ENVIRONMENTAL AUTOMOTIVE FUEL APPLICATION

Tsoy A., Samatov A.

a_tsoi1@mail.ru

Supervisor: O. Rozhko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

The article discusses the advantages of using and developing the infrastructure of promising environmentally friendly automotive fuels.

УДК 57.628.35

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОЧИСТКУ ВОД ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА

Чаптарова Е. А., Фазуллина А. А.

elena.chaptarova@mail.ru

Научный руководитель: С. В. Фридланд, д-р хим. наук, профессор

(Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань)

Исследовано извлечение ионов железа из модельных растворов клетками микроводоросли *Chlorella vulgaris* и возможность интенсификации процесса за счет применения биологически–активного вещества – диизопропилового эфира 1–диметилгидразинотолуол–3–окса–4–бензилол–7–диметилгидразин фосфоновой кислоты (ДОБДФК). Показано, что использование названного реагента в низких концентрациях способствует увеличению степени удаления ионов железа.

В виду создавшегося высокого антропогенного воздействия на окружающую среду встает ряд задач по интенсификации очистки промышленных сточных вод. Одним из вариантов интенсификации процессов биологической очистки является стимулирование микроорганизмов с использованием химических веществ, обладающие высокой биологической активностью, или биологически активные вещества, в качестве селективного стимулятора процесса биоразложения трудноокисляемых компонентов [1].

Биологически активное вещество – в широком смысле – вещество, вырабатываемое организмом или получаемое им извне и оказывающее либо стимулирующее, либо подавляющее воздействие на происходящие в организме процессы. К биологически активным веществам относятся биолины, гормоны, ингибиторы, ферменты, фитогормоны и другие [2].

Основными способами процесса стимулирования роста и развития микроорганизмов и повышения их ферментативной активности являются:

- иммобилизация микробных клеток на носителе, что повышает устойчивость бактерий, благоприятствует их адаптации к стрессорным воздействиям за счет увеличения их популяции;
- создание оптимальных условий по температурному режиму, аэрации, pH среды;
- внесение в среду биогенных добавок [3].

Благоприятное воздействие на рост и развитие микроорганизмов оказывает внесение в среду сбалансированного комплекса биогенных добавок и микроэлементов [4].

Механизм стимулирующего влияния добавляемых в среду компонентов может различаться. К числу основных факторов роста [5], влияющих на физиологическую активность микроорганизмов, можно отнести следующие группы веществ: витамины (биотин, n-аминобензойная кислота, тиамин, никотиновая кислота и витамин B12); аминокислоты, пурины и пиримидины, органические кислоты и углеводы [6].

Некоторые органические соединения выполняют функцию активации работы живого вещества, наиболее часто используемым препаратом является янтарная кислота и ее производные [7].

На данный момент известны тысячи работ, в которых показано, что водные растворы биологически активных веществ проявляют свои биоэффекты при различных концентрация, начиная от $10^{-3} – 10^{-7}$ М до области сверхнизких $10^{-12} – 10^{-20}$ М [8].

Chlorella vulgaris – это эукариотические, одноклеточные зеленые микроводоросли. Она обитает в пресноводных водоемах, где, обладая большим запасом хлорофилла и комплексом редчайших питательных веществ, участвует в процессе фотосинтеза, поглощая углекислый газ и насыщая воздух кислородом

Клетка хлореллы имеет форму сферы с диаметром 3 – 12 мкм. В пластидах хлореллы содержатся хлорофиллы форм a и b. Они накапливают энергию солнца и используют ее для образования веществ органического происхождения.

Все жизненные функции может выполнять одна микроскопическая клетка. Чтобы хлорелла росла и развивалась, нужны кислород, вода, минеральные вещества и углекислый газ.

Хлорелла обширно распространена в пресных водах, сырой земле, коре деревьев и тому подобное. Это одноклеточная зеленая водоросль без жгутиков, глазков и сократительных вакуолей. Микроводоросль размножается только бесполым путем.

Для фотосинтеза хлорелле требуется вода, CO_2 и небольшое количество минералов для размножения.

Биомасса хлореллы содержит витамины групп B, C, PP, E, каротин. В естественном виде в диких штаммах присутствуют такие микроэлементы, как йод, бром, мышьяк, кобальт, калий, фосфор, железо, магний и многие другие, а также антибиотики.

Хлорелла неприхотлива к условиям обитания. Она способна очень активно размножаться, в следствие этого довольно обширно распространена и сталкивается буквально везде [9].

Имеются многочисленные сведения о том, что *Chlorella vulgaris* способствует удалению ионов тяжелых металлов (ИТМ) из водных сред [10]. Тяжелые металлы относятся к приоритетным загрязняющим веществам, наблюдения за которыми обязательны не только в водной, но и во всех остальных средах.

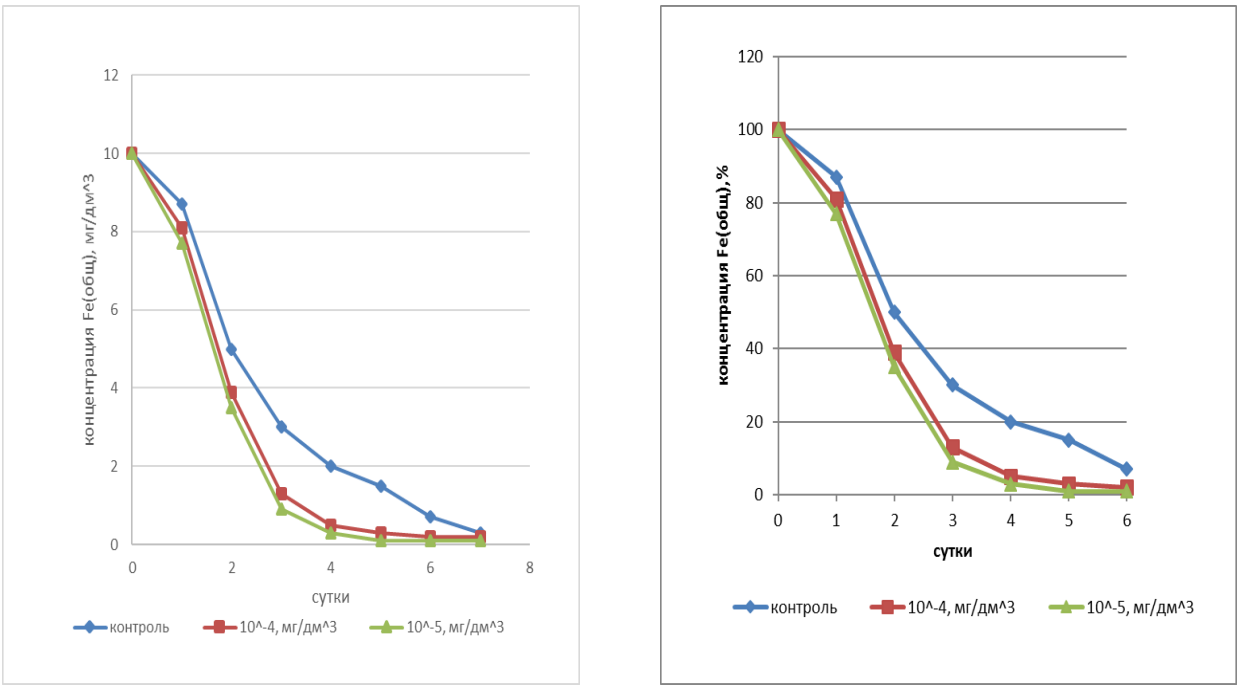
На сегодняшний день к тяжелым металлам относят более 40 металлов периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой свыше 50 атомных единиц: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo и др. При этом немаловажную роль в категорировании тяжелых металлов играют следующие условия: их высокая токсичность для живых организмов при относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции и биомагнификации. Загрязненные сточные воды нуждаются в очистке. Существует несколько этапов очистки сточной воды: механический, физико-химический, химический, биологический и комбинированный.

В работах последнего десятилетия внимание исследователей привлекают биологические методы очистки сточных вод, с использованием фототрофных организмов - микроводоросли, цианобактерии и высшие водные растения. Многие фототрофы способны использовать в качестве источников питания минеральные вещества и простые органические соединения. Отмечается, что некоторые из них обладают высокой кумулятивной способностью по отношению к тяжелым металлам и радиоактивным элементам.

В различных исследованиях отображено удаление из водных объектов ионов тяжелых металлов (ИТМ), таких как Cd^{2+}, Cu^{2+}, Ni^{2+}, Pb^{2+}(II), Fe^{2+}, Fe^{3+}, Cr^{6+}, Zn^{2+}. Высокая эффективность извлечения ИТМ обусловлена, по всей видимости, выделением микроводорослью в процессе своей жизнедеятельности в водную среду аминокислот, которые, как известно, образуют с ионами металлов нерастворимые в воде комплексные соединения. Указывается также, что хлорелла способствует эффективному удалению из водных сред различных красителей [11]. В этой связи представлялось интересным оценить влияние диизопропилового эфира ДОБДФК в низких (10^{-4} и 10^{-5} г/дм^3) концентрациях на процесс извлечения ионов тяжелых металлов из водных сред в присутствии *Chlorella vulgaris.*

В качестве искусственного загрязняющего вещества использовались ионы железа в концентрации 10 мг/дм^3. В модельные воды, содержащие ионы железа в указанной выше концентрации, добавлялось определенное количество биомассы *Chlorella vulgaris,* диизопропилового эфира ДОБДФК, чтобы концентрация последнего в растворе составляла 10^{-4} и 10^{-5} г/дм^3. Время проведения эксперимента составляло 7 суток. Через каждые 24 часа после начала проведения процесса измерялось остаточное количество ионов железа в растворе. На рисунке 1а приведены графические зависимости изменения остаточной концентрации ионов железа в зависимости от времени и концентрации (мг/дм^3) используемого БАВ в концентрации 10^{-4} и 10^{-5} г/дм^3, а на рисунке 1б приведены графические зависимости изменения остаточной концентрации ионов железа в зависимости от времени и концентрации (%) используемого БАВ в концентрации 10^{-4} и 10^{-5} г/дм^3.

Результаты проведенных исследований показали, что при использовании диизопропилового эфира ДОБДФК в качестве БАВ для интенсификации доочистки воды от ионов железа при помощи *C. Vulgaris* значения ПДК достигнуты на 4 – е сутки, а контрольный опыт только на 7 – ые сутки. Результат доочистки воды от ионов железа с использованием микроводоросли *C. Vulgaris* составляет 93 %, в отличие от контрольного – 77 %.



а) б)

Рис. 1. Зависимость изменения содержания ионов железа в воде при концентрации диизопропилового эфира ДОБДФК 10^{-4} и 10^{-5} мг/дм^3: а) в мг/дм^3, б) в %

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Использование метода биологической очистки для обезвреживания сточных вод предприятий органического синтеза: тез. докл. 54 Научно – технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Уфа:УГНТУ, 2003. – 143 с.

2. *Реймерс Н. Ф.* Популярный биологический словарь / *Н. Ф. Реймерс*. – М.: Наука, 1990. – 544 с.

3. *Якушева А. В.* Стимулирование сероокисляющих микроорганизмов в процессах биологической очистки сточных вод химических производств / Химическая промышленность сегодня. 2009. № 10. С. 39 – 48.

4. Стимулирование сероокисляющих микроорганизмов в процессах биологической очистки СВ химических производств/ *А. В. Якушева* [и др.]. // Химическая промышленность сегодня, 2009. – №10. – С. 39 – 48.

5. *Пантюкова М. Е.* Исследование влияния салициловой и парааминобензойной кислот на биологоческую очистку сточных вод производства органического синтеза / Безопасность в техносфере. 2013, в.3, с.57–59

6. *Маврин Г. В., Смирнова Н. Н.* Влияние малых и сверхмалых концентраций соединений Этафосф, Амидофосф и Анифосф на динамику численности тест-объектов DaphniamagnaStraus и микроводоросли Scenedesmusquadricauda // Экология промышленного производства. 2014. Вып. 2 (86). С. 39-43.

7. Исследование влияния добавок фумаровой кислоты на активность ила в процессе биологической очистки сточных вод производства тиокола: отчет о НИР (промежуточ.) / Казан. гос. технол. ун–т. – Казань, 1999. – 3 с.

8. *Бурлакова Е. Б.* Действие сверхмалых доз биологически активных веществ и низкоинтенсивных физических факторов /*Е. Б. Бурлакова, А. А. Конрадов, Е. Л. Мальцева* // Химическая физика. – 2003. – Т.22. – № 2–С.21–40.

9. *Капульцевич Ю. Г.* Количественные закономерности лучевого поражения клеток / *Ю. Г. Капульцевич*. – М.: Атомиздат, 1978. – 230 с.

10. *Bajguz A.* Blockade of heavy metals accumulation in *Chlorella vulgaris* cells by 24–epibrassinolide / *A. Bajguz* // Plant Physiology and Biochemistry. – 2000. – V. 38. – № 10. – P.

797–801.

11. *Воронов Ю.В.* Водоотведение и очистка сточных вод / *Ю. В. Воронов, С. В. Яковлева*. – М: Атомиздат, 2006. – 704 с.

EFFECT OF LOW CONCENTRATIONS OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES ON PURIFICATION OF WATER FROM IONS OF IRON

Chaptarova E., Fazullina A.
elena.chaptarova@mail.ru
Supervisor: S. Friedland, Doctor of Chemical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technological University, Kazan)

The extraction of iron ions from model solutions by cells of Chlorella vulgaris microalgae and the possibility of intensification of the process through the use of biologically active substance – diisopropyl ether 1–dimethylhydrazinotoluol–3–oxa–4–benzylene–7–dimethylhydrazinephosphonic acid (DOBDFK). It is shown that the use of this reagent in low concentrations increases the degree of removal of iron ions.

УДК 534.6

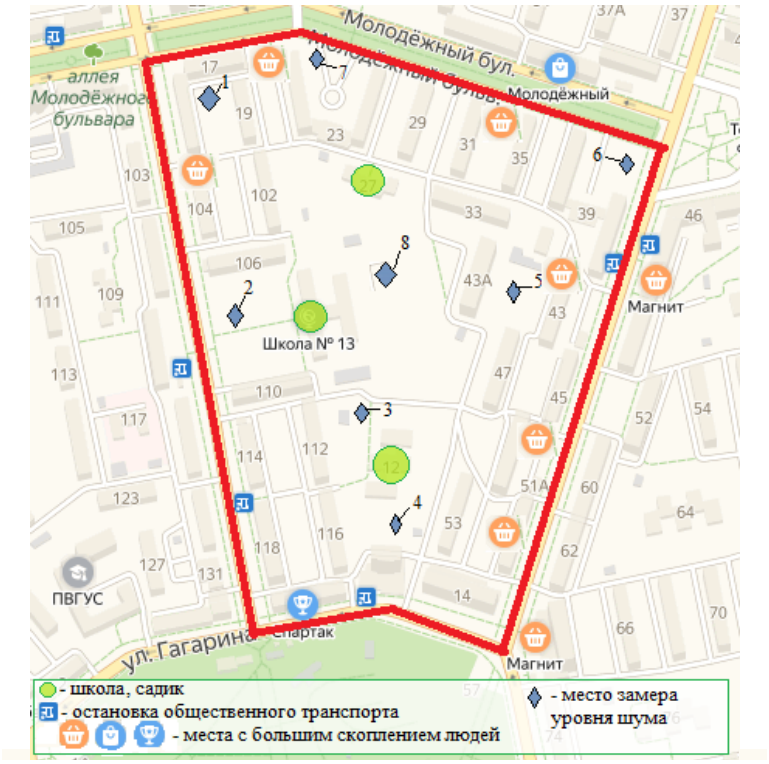
АКУСТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ УРБАНИСТИЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ

Чивелёва М.Д., Горина Л.Н.
zolyshka63@mail.ru,gorina@tltsu.ru
Научный руководитель: Л.Н. Горина д-р пед. наук, профессор
(*Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти)*

Превышение норм уровней шума в жилых районах города приводит к ухудшению здоровья и нарушению нервной системы, что влияет на взаимоотношение в семье, на трудоспособность и многое другое. Негативных последствий можно избежать, если проводить комплексный контроль за всеми нормами и правилами акустической безопасности. Для этого необходимо разработать специальную методику по изучению акустической безопасности, которую можно будет применять в городской среде. Целью работы было проведение исследования уровней и воздействия шума в городской среде с учетом источников внешнего шума днём и ночью, на примере 1 квартала города Тольятти.

Перед началом исследования необходимо разработать методику акустического аудита городской среды. Сама методика является авторской разработкой комплексного контроля акустической безопасности урбанистической территории. Разработанная методика включает в семя 6 обязательных этапов исследования, позволяющие выявить нарушения и дать максимально полные рекомендации по устранению избытков шума. Этапы проведение исследования, лежащие в основе авторской методики: 1 этап – идентификация источников шума; 2 этап – аудит СЗЗ; 3 этап – измерения уровней шума с учётом времени суток; 4 этап – анализ полученных результатов; 5 этап – определение методов и средств защиты от шума; 6 этап – опытная экспериментальная апробация.

Для акустического комфорта в городской среде осуществляется нормирование внешнего шума по СП 51.13330.2011. [1]. Но для начала необходимо выделить основные источники внешнего шума на селитебной территории., при помощи идентификации источников шума. В качестве объекта исследования мы выбрали: город Тольятти, Центральный район, 30 квартал, изображённый на рисунке 1.



1-8 – места замера уровней шума

Рис. 1. Город Тольятти, Центральный район, 30 квартал

Все источники акустического воздействия можно увидеть на рисунке 1. К источникам шума 30 квартала, можно отнести:

1. Автотранспорт - дорога располагается по границам квартала.
2. Дорожная инфраструктура - по границам квартала имеются 5 остановок общественного транспорта, которые вызывают дополнительные акустические всплески за счёт скопления людей и звуки машины в периоды разгона и торможения, а также внутри квартала имеются придомовые стоянки.
3. Общественные места – школа, сетевые продуктовые магазины, банки и другие социальные объекты.
4. Промышленные объекты, расположенные в СЗЗ жилого квартала.

Одним наиважнейшим фактором шума, влияющим на организм человека, является размер СЗЗ зоны. Если промышленные объекты с повышенным уровнем шума будут нарушать нормы СЗЗ в селитебной зоне, то это отрицательно скажется на комфортном проживании людей в районе. Как говориться в «В санитарно-защитной зоне не допускается размещать: жилую застройку, включая отдельные жилые дома, ландшафтно-рекреационные зоны, зоны отдыха, территории курортов, санаториев и домов отдыха, территорий садоводческих товариществ и коттеджной застройки, коллективных или индивидуальных дачных и садово-огородных участков, а также других территорий с нормируемыми показателями качества среды обитания; спортивные сооружения, детские площадки, образовательные и детские учреждения, лечебно-профилактические и оздоровительные учреждения общего пользования». [2].

Для обеспечения акустической безопасности необходимо исследовать СЗЗ, измерить уровни шума на примере 30 квартала и провести сравнительный анализ результатов с нормированными данными ПДУ. Визуализация проведённого исследования приведена в таблице 1.

Таблица 1

Исследование уровней шума в 30 квартале города Тольятти

Точка замера шума по рис.1.	Основные источники шума	Общее число источников шума	Размер СЗЗ Норма/ Превышение	Уровень шума		ПДУ, дБА	Соответствует / не соответствует
				днём	ночью		
1	Автотранспорт Социальные объекты	2	Норма	49	25	44	не соответствует
2	Автотранспорт Инфраструктура Социальные объекты	3	Норма	60	34		не соответствует
3	Социальные объекты	1	Норма	19	6		Соответствует
4	Автотранспорт Инфраструктура Социальные объекты	3	Норма	47	32		не соответствует
5	Автотранспорт Инфраструктура Социальные объекты	3	Норма	46	32		не соответствует
6	Автотранспорт Инфраструктура	2	Норма	57	29		не соответствует
7	Автотранспорт Социальные объекты	2	Норма	59	33		не соответствует
8	Социальные объекты	1	Норма	13	4		Соответствует

Проанализировав результаты проведённого исследования, делаем вывод, что жилые здания и сооружения, находящиеся вдоль границ квартала, являются наиболее уязвимы к воздействию шума от автотранспорта и социальных объектов, и чтобы максимально снизить негативные факторы шума рассмотрим методы и средства защиты от шума.

Рекомендации для защиты от шума внутри источника шума:

1. Установка вдоль границ квартала шум защитный экран [3].
2. Посадка специализированных полос зелёных насаждений.
3. Снижение шума кондиционеров сетевых продуктовых магазинах, стоящих рядом с жилыми домами или находящимися в самом жилом здании.
4. Установка щитов со звукоизоляцией/звукопоглощением, на пути распространения шума.

Заключение

Были идентифицированы основные источники шума с учётом географического расположения выбранного для исследования объекта. Проанализированы и выбраны точки замера с более и менее количеством источников шума. Проведены замеры и анализ полученных результатов. Разработаны рекомендации для обеспечения акустической комфортности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. – Введ. 2011-05-20. - Минрегион России. - М.: ОАО "ЦПП", 2010 год. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200035251 (дата обращения: 11.04.2019г.)
2. *Upload*. Дисциплина «промышленная экология»/Казанский государственный энергетический университет URL: https://studfiles.net/preview/4614693/page:13/ (дата обращения: 11.04.2019г.)
3. *Фесина Михаил Ильич, Краснов Александр Валентинович, Горина Лариса Николаевна, Орлов Сергей Алексеевич, Козлов Алексей Сергеевич* – Патент «Шумозащитный экран». Опубликован 30.01.2017 Бюл. № 4 URL: https://tltsu.ru/uscience/scientific-innovative-activity/patents/detail.php?ID=45279 (дата обращения: 11.04.2019г.)

ACOUSTIC SAFETY OF URBAN AREAS

Chepeleva M., Gorin, L.
zolyshka63@mail.ru, gorina@tltsu.ru
Scientific supervisor: L. Gorin, Doctor of Pedagogic Sciences, Professor
(Togliatti State University, Togliatti)

Exceeding the norms of noise levels in residential areas of the city leads to poor health and disruption of the nervous system, which affects the relationship in the family, the ability to work and more. Negative consequences can be avoided if a comprehensive control of all the rules and regulations of acoustic safety is carried out. To do this, it is necessary to develop a special methodology for the study of acoustic safety, which can be used in the urban environment.

УДК 504.064.36

ПРИМЕНЕНИЕ СВОДНЫХ РАСЧЕТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА КОРРЕКТНОСТИ УСТАНОВЛЕННЫХ НОРМАТИВОВ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В Г. НИЖНЕКАМСК

Шагидуллин А.Р., Магдеева А.Р., Габдрахимова В.А.
artur.shagidullin@tatar.ru
(Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань)

На основе базы данных параметров стационарных источников проведены сводные расчеты максимальных концентраций загрязняющих веществ в г.Нижнекамск. Показана необходимость осуществления контроля соблюдения нормативных режимов работы источников загрязнения.

Нижнекамск является крупным промышленным центром с высокими уровнями негативного воздействия выбросов промышленных предприятий. Согласно [1], Нижнекамск является территорией с наибольшими выбросами стационарных источников по Республике Татарстан (с учетом факта завышения выбросов промышленности г. Альметьевск за счет отнесения к нему нефтедобывающих подразделений, функционирующих в других районах). В 2018 году объем выбросов промышленных источников согласно данным статистической отчетности составил 59,9 тыс. тонн. Такая нагрузка часто приводит к большому количеству жалоб населения на неудовлетворительное качество атмосферного воздуха.

Одним из эффективных и необходимых инструментов обеспечения качества воздуха являются сводные расчеты. Сводные расчеты загрязнения атмосферного воздуха – это расчеты концентраций вредных веществ в приземном слое атмосферы, которые проводятся на основе сводной базы данных параметров источников загрязнения атмосферного воздуха рассматриваемой территории. Результаты сводных расчетов применяются при нормировании выбросов стационарных источников, оценки перспективных уровней загрязнения атмосферного воздуха, ожидаемых после строительства новых автомагистралей или изменения схемы движения транспорта, оценке допустимости расширения производств, оказывающих негативное воздействие на атмосферный воздух, оценке возможных вкладов различных источников в формирование приземных концентраций различных вредных веществ, территориальном планировании, оценки эффективности природоохранных мероприятий, решении прочих важных городских задач.

Результаты расчета рассеивания выбросов всех стационарных источников представляют собой оценку максимальных значений концентраций примесей, которые могут наблюдаться при наиболее неблагоприятном сочетании характерных для района метеоусловий (за исключением аномальных метеоусловий [2]) и режимов наиболее интенсивных выбросов промышленных источников. Таким образом, результаты такого расчета позволяют сделать вывод о корректности установленных нормативов выбросов.

Сводная база данных параметров источников загрязнения атмосферы г. Нижнекамска [3], составленная на основе утвержденных материалов инвентаризации выбросов наиболее

значимых предприятий города, включает данные о 6415 стационарных источниках. В атмосферный воздух выбрасывается 322 загрязняющих вещества с разной степенью токсичности. Выбрасываемые вещества могут формировать 37 групп примесей с взаимным усилением негативного воздействия на организм. Суммарная величина разрешенного максимального разового выброса (максимальный выброс источника с периодом осреднения 20-30 минут) составляет – 7031,28 г/с, величина валового выброса – 75632,79 тонн/год.

Для проведения сводных расчетов использовалась лицензионная УПРЗА «Эколог-Город» вер. 4.5, разработанная ООО «Фирма «Интеграл» (г. Санкт-Петербург). Программа реализует нормативную методику расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе [4].

Расчеты проводились без учета выбросов автотранспорта.

С целью сопоставления полученных результатов с данными инструментального мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в рамках дальнейших исследований при проведении расчетов был сформирован набор из 16 расчетных точек, расположенных в различных частях жилой части г. Нижнекамска в точках размещения стационарных и передвижных постов контроля загрязнения атмосферы Министерства экологии и природных ресурсов РТ, Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды РТ и Управление Роспотребнадзора по РТ.

Предварительная оценка целесообразности детальных расчетов рассеивания, проводимая с целью экономии времени и трудозатрат при последующей обработке результатов, показала нецелесообразность расчетов для 49 из указанного выше количества примесей. Таким образом, эти примеси в силу малых значений выбросов способны формировать лишь заведомо малые приземные концентрации.

Дальнейший анализ результатов расчетов максимальных концентраций в выбранном наборе расчетных точек показал следующее. Для 259 вредных веществ и 27 групп суммаций полученные концентрации не превысили значения 0,3 ПДК (или ОБУВ) во всех расчетных точках. Для 9 веществ и 10 групп суммаций максимальные уровни концентраций в расчетных точках составили значения от 0,3 до 1 ПДК (ОБУВ). Результаты представлены в таблице. Веществ или групп суммаций с концентрациями, превышающими допустимый уровень в выбранных расчетных точках, не обнаружено.

Необходимо отметить, что для формирования приведённых в таблице суммаций необходимо одновременное присутствие в воздухе всех ее составляющих.

Согласно представленным результатам расчетов, установленные нормативы выбросов (вне периодов неблагоприятных метеоусловий [5]), при условии их соблюдения, способны обеспечивать непревышение нормативов качества атмосферного воздуха. Таким образом, к возможным причинам фиксируемых фактов нарушения надлежащего качества воздуха относятся нарушения установленных проектной документацией режимов работы оборудования, превышение предельно допустимых уровней выбросов, наличие ненормированных источников выбросов и т.д. Отметим, что на более ранних этапах функционирования системы сводных расчетов отмечалось наличие превышений в результате совместного воздействия источников предприятий промышленной зоны.

Для решения сложившейся в г. Нижнекамск проблемы загрязнения атмосферы целесообразным является совместное применение инструментального и расчетного мониторинга, оперативное реагирование на сообщения от населения о наличии химических запахов, анализ полноты и достоверности учета источников загрязнения в проектной документации, обеспечение соблюдения предприятиями предписаний об устранении выявленных нарушений.

Таблица

Результаты расчетов для веществ и групп суммаций, максимальные концентрации которых в расчетных точках составили значения от 0,3 до 1 ПДК (ОБУВ)

№	Код в-ва	Наименование вещества	Диапазон концентраций в расчетных точках, доли ПДК (ОБУВ)	
			мин.	макс.
1	2	3	4	5
1	101	Оксид алюминия	0,08	0,34
2	301	Диоксид азота	0,26	0,80
3	512	Дициклопентадиен	0,11	0,33
4	527	Этилиденнорборнен	0,11	0,34
5	602	Бензол	0,03	0,69
6	621	Толуол	0,04	0,33
7	627	Этилбензол	0,17	0,39
8	871	Хлорметан	0,20	0,51
9	1042	Спирт н-бутиловый	0,01	0,34
10	6006	Азота диоксид и оксид, мазутная зола, серы диоксид	0,48	0,99
11	6007	Азота диоксид, гексан, углерода оксид, формальдегид	0,28	0,87
12	6008	Азота диоксид, гексен, серы диоксид, углерода оксид	0,46	0,96
13	6010	Азота диоксид, серы диоксид, углерода оксид, фенол	0,47	0,96
14	6020	Бензол и ацетофенон	0,05	0,69
15	6032	Озон, двуокись азота и формальдегид	0,26	0,84
16	6040	Серы диоксид и трехокись серы (аэрозоль серной кислоты), аммиак	0,49	0,99
17	6043	Серы диоксид и сероводород	0,24	0,36
18	6050	Циклогексан и бензол	0,03	0,69
19	6204	Азота диоксид, серы диоксид	0,27	0,58

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2018 году», Казань: Министерство экологии и природных ресурсов РТ, 2019. 402 с.

2. *Берлянд М.Е.* Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985. 272 с.

3. Отчет по ГК № 18 МЭ-25с от 31.08.2018 г. «Ведение системы расчетного мониторинга за состоянием атмосферного воздуха для выявления источников загрязнения, деятельность которых является причиной повышенной загазованности атмосферного воздуха в городе Нижнекамске». Казань: Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 2018. 174 с.

4. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утверждены приказом Минприроды РФ от 06.06.2017 №273). СПб, 2018, 156 с.

5. Федеральный Закон «Об охране атмосферного воздуха» от 4.05.1999 г. № 96-ФЗ.

USE OF SUMMARY CALCULATIONS OF AIR POLLUTION IN THE CITY OF NIZHNEKAMSK TO ANALYZE THE CORRECTNESS OF THE EMISSION REQUIREMENTS

Shagidullin A., Magdeeva A., Gabdrakhimova V.

artur.shagidullin@tatar.ru

(Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan)

Based on the database of parameters of stationary sources, calculations of the maximum concentrations of pollutants in Nizhnekamsk were carried out. The necessity of control of emission requirements is shown.

УДК 628.345

ОЧИСТКА ВОД НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ФИЛЬТРАЦИОННО-СОРБЦИОННЫМ МЕТОДОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛОДОВЫХ ОБОЛОЧЕК ЗЕРЕН ОВСА

Шадрина А.В.
zetsubouplantation@gmail.com
Научный руководитель С.В. Степанова, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань)

В работе исследована возможность проведения процесса очистки сточных вод нефтехимического производства фильтрационно-сорбционный методом путем использования химически модифицированных плодовых оболочек зерен овса. Показано, что применение данного адсорбционного материала способствует снижению концентрации ионов алюминия на 43 %, а ионов меди – 50 %.

Сточные воды многих промышленных предприятий оказывают серьезное загрязняющее воздействие на состояние водных ресурсов страны. По данным государственного экологического мониторинга было выявлено, что состояние оборудования очистных сооружений является устаревшим и не обеспечивает нормативных требований по сбросам в водоемы или в городские канализации. Такие предприятия требуют внедрение новых технологий и оборудования, что сопряжено с финансовыми затратами. В качестве стимула к проведению реконструкций государством применяются разного рода экономические санкции, такие как повышение налогов и штрафом за использование водных ресурсов, а также за нарушения нормативных значений сброса.

Основной вклад в структуру выбросов на 2017 г. в Приволжском федеральном округе внесли предприятия по добыче сырой нефти и природного газа; по деятельности трубопроводного транспорта; по производству нефтепродуктов; по обеспечению электрической энергией, газом и паром; кондиционированию воздуха; по производству химических веществ и химических продуктов; по предоставлению услуг в области добычи нефти и природного газа. Лидерами по выбросам летучих органических веществ в 2017 г. были Республики Башкортостан и Татарстан, а также Самарская область [1].

Недостаточно очищенные стоки, содержащие ионы металлов, являются одним из основных источников загрязнения гидросферы. В настоящее время для очистки применяют химические, физикохимические, физические и биологические методы. Большая часть существующих технологий очистки базируется на реагентных методах [2].

Очистка сточных вод нефтехимического производства осуществляется за счет комплекса мероприятий, основывающихся на адсорбции ионов металлов активным илом или активированным углем. Сорбционная очистка заключается в концентрировании катионов металлов на поверхности или в объеме пор сорбента. На определенном этапе очистки адсорбенты отрабатываются, и возникает задача их регенерации или утилизации. Если не решить эту задачу, то сорбент должен быть захоронен, что создает дополнительную опасность загрязнения окружающей среды токсичными соединениями. Поэтому сорбционные методы применяются, в основном, для доочистки сточных вод от ионов металлов, а выбор сорбента осуществляется с учетом его стоимости, возможности достижения значений ПДК для рыбохозяйственных водоемов и последующей утилизации [3; 4].

Предельная концентрация для ионов алюминия в воде хозяйственно-питьевого использования в России составляет 0,2 мг/л, для ионов меди – 1 мг/л. Ионы алюминия, содержащиеся в воде, не относятся к веществам с явно выраженным токсическим воздействием. Вредное влияние алюминия на организмы проявляется при постепенном в них накоплении, приводя к расстройствам центральной-нервной системы, вымыванию кальция, ухудшению памяти. Концентрация меди более 3 мг/л может вызвать острое нарушение функции желудочно-кишечного тракта, а также способствовать развитию цирроза печени [5; 6].

Авторами проведен ряд исследований, в которых показана возможность применения плодовых оболочек зерен овса (ПОЗО) в качестве адсорбционного материала по отношению к

ионам металлов в статических условиях на модельных водах [7], показано, что модификация данных образцов позволяет увеличить эффективность очистки вод от загрязняющих веществ до 20 % [8]. Поэтому представляло интерес провести исследования по очистке вод от ионов металлов в динамических условиях.

В данной работе проведены изыскания по очистке сточных вод ПАО «Нижнекамскнефтехим» от ионов меди и алюминия путем применения в качестве фильтрующей загрузки химически модифицированных образцов ПОЗО.

Эксперимент проводился следующим образом: химически загрязненные сточные воды пропускались через слой фильтрующей загрузки, которая представляет собой обработанные 1 % -ным раствором серной кислоты ПОЗО в соотношении 300 мл:30 г при экспозиции в течение 60 мин с последующей промывкой. Пробы отбирались через каждые 20 мин в течение трех часов. В очищенной сточной воде определялись остаточные концентрации ионов меди [9] и алюминия [10].

Таблица 1

Результаты очистки пробы промышленного стока

Ионы металлов	До очистки, мг/л	После очистки, мг/л.
Al^{3+}	0,47	0,25
Cu^{2+}	0,052	0,0026

По результатам полученных исследований можно сделать вывод о том, что фильтрационно-сорбционный метод очистки сточных вод на основе модифицированных плодовых оболочек зерен овса способствует снижению концентрации ионов алюминия на 43 %, а ионов меди – 50 %. Следовательно, дальнейшие исследования в данном направлении оправдываются целесообразностью и перспективой внедрения более экологических и экономически выгодных методов очистки сточных вод на предприятиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». [Электронный ресурс] URL: http://www.mnr.gov.ru/upload/medialibrary/353-682.pdf (Дата обращения 11.07.2019).

2. Очистка и использование сточных вод в промышленности /А.М. Когановский [и др.]. – М.: Химия, 1983. – 288 с.

3. *Е. Н. Елизарьева.* Сорбенты для удаления тяжелых металлов из сточных вод. [Электронный ресурс] URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_30636887_23552682.pdf (Дата обращения 11.07.2019).

4. *С. И. Фролова, Г. А. Козлова.* Влияние тяжелых металлов на активный ил при очистке сточных вод в режиме продленной аэрации [Электронный ресурс] URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_15582754_46563546.pdf (Дата обращения 11.07.2019).

5. *А. Р. Мифтахова, Э. Ф. Магизова, С. В. Степанова.* Исследование очистки вод от ионов алюминия альтернативными реагентами из отходов злаковых культур [Электронный ресурс] URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_38049967_27546212.pdf (Дата обращения 12.07.2019).

6. *С. В. Степанова.* Очистка вод от ионов меди сточными водами производства целлюлозы из отходов злаковых культур [Электронный ресурс] URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_30763887_96758706.pdf (Дата обращения 12.07.2019).

7. *Степанова, С.В.* Очистка модельных вод, содержащих ионы меди, отходами переработки зерновых культур / С.В. Степанова, Т. И. Шайхиев, С. В. Фридланд// Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 15 – С. 318-322

8. *Степанова С.В.* Исследование сорбционной емкости отходов злаковых культур и их модификатов по отношению к ионам меди / С. В. Степанова, И. Г.Шайхиев // Экология: образование, наука, промышленность и здоровье: сб. докл. V Международной научно-практ. конференции. – Белгород, 2013. – С.54-56

9. ПНД Ф 14.1:2:4.166-2000. Количественный химический анализ вод [Текст]. – Москва, 2004. – 21 с.

10. ПНД Ф 14.1:2:4.48-96. Количественный химический анализ вод [Текст]. – Москва, 2011. – 22 с.

CLEANING OF WATER OF PETROCHEMICAL PRODUCTION FILTRATION AND SORPTION METHOD WHEN USING MODIFIED FRUIT SHEETS OF OATS

Shadrina A.

zetsubouplantation@gmail.com

Supervisor: S. Stepanova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

(Kazan National Research Technological University, Kazan)

In this paper, the possibility of carrying out the process of cleaning wastewater from a petrochemical production by filtration and sorption by using chemically modified fruit shells of oat grains was investigated. It is shown, that the use of this adsorption material helps to reduce the concentration of aluminum ions by 43%, and copper ions - 50%.

УДК 502.3

СНИЖЕНИЕ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ ЦИКЛОННОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ

Шакирова Д.Р.

Dianchik10_10@mail.ru

Научный руководитель: Б.Г. Петров, канд. геогр. наук, профессор

(Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

Объектом исследования является пылеулавливающее устройство. Проведен анализ эффективности его работы. Выявлены причины снижения эффективности и рассмотрены возможные альтернативы по ее повышению. Предложено решение по модернизации устройства путем интенсификации поверхности циклона. Показана экономическая и экологическая эффективность предложенного решения.

Научно-технический прогресс и усиление антропогенного влияния на природную среду неизбежно приводят к обострению экологической ситуации.

Многие технологические процессы сопровождаются поступлением в атмосферу производственных пылегазовоздушных выбросов, содержащих вредные вещества. Твердые и пластичные частицы пыли, газовые и аэрозольные загрязнения значительно ухудшают качество атмосферного воздуха, что влияет на здоровье людей, животный и растительный миру.

В связи с этим вопросы повышения эффективности очистки и обезвреживания производственных пылегазовоздушных выбросов от твердых, пластичных, газообразных, аэрозольных и жидких вредных примесей с помощью пылегазоуловителей весьма актуальны.

Нами рассмотрена пылеулавливающая установка, представляющая собой аспирационную систему (рис.1).

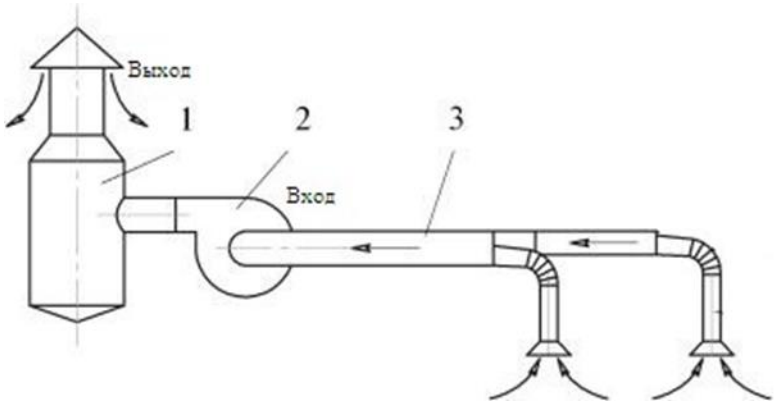


Рис. 1. Схема работы пылеулавливающей установки

Где 1 – пылегазоочистной аппарат ЦС, 2 – вспомогательное оборудование (электродвигатель, вентилятор), 3 – коммуникации (зонды, пылесборники, воздуховоды).

Принцип работы рассматриваемой пылегазоулавливающей установки следующий. В улиткообразное входное пространство циклона с большой скоростью (до 20 м/с) поступает воздух, для чего обычно используются вентиляторы. Воздух, содержащий частички пыли, закручивается, после чего поступает в коническую полость аппарата. Особенности геометрического строения циклона обуславливают постепенное увеличение скорости воздушного потока, содержащего пыль и иные отходы. В процессе этого происходит самоотделение более тяжёлых частиц пыли от более лёгких. Первые оседают на дно, а вторые, перемещаясь в конусообразном пространстве, попадают в пылесборник. Очищенный воздух через трубу удаляется в атмосферу.

На основе данных отчетности: «Проведению анализа промышленных выбросов загрязняющих веществ» за последние 8 лет, нами был проведен анализ эффективности работы ПГУ. Основные результаты которого, представлены на рисунках 2-4.

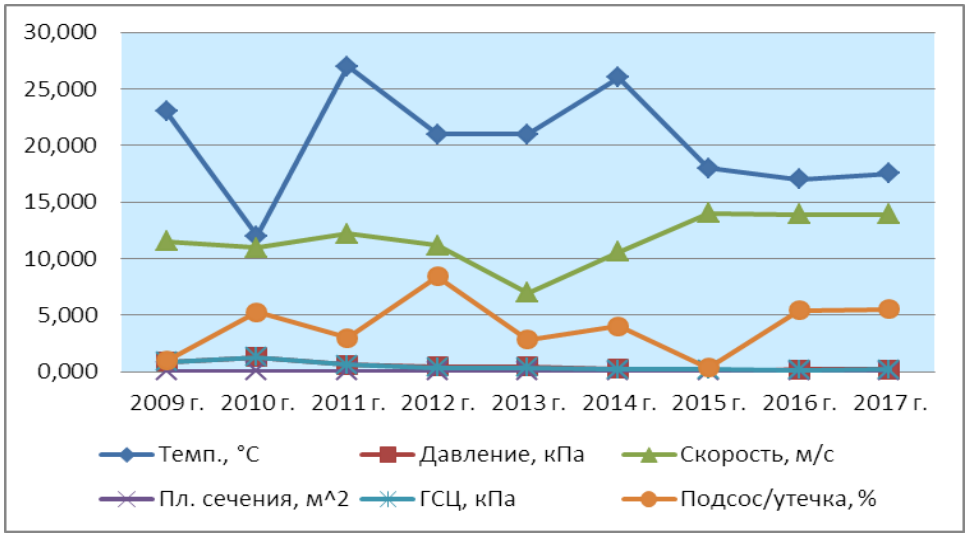


Рис. 2. Значения параметров на входе

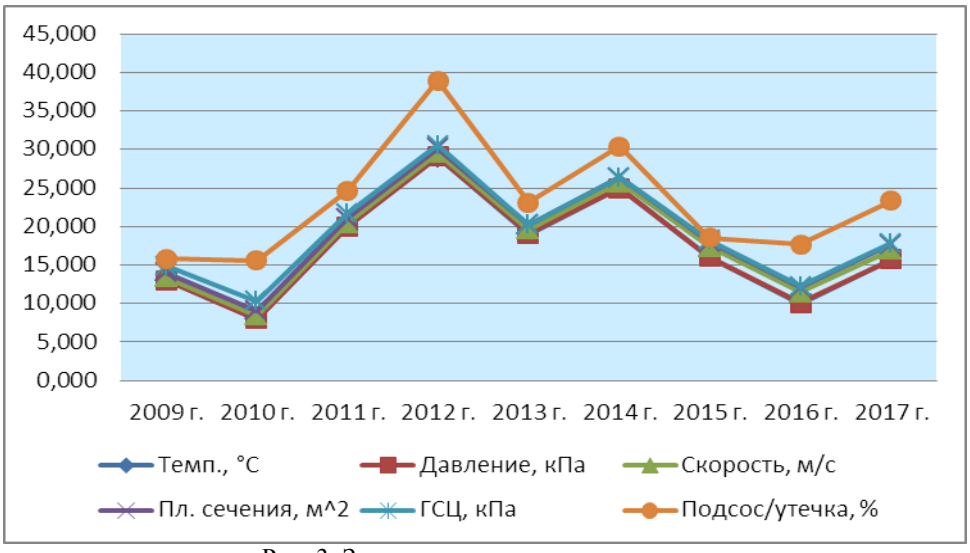


Рис. 3. Значения параметров на выходе

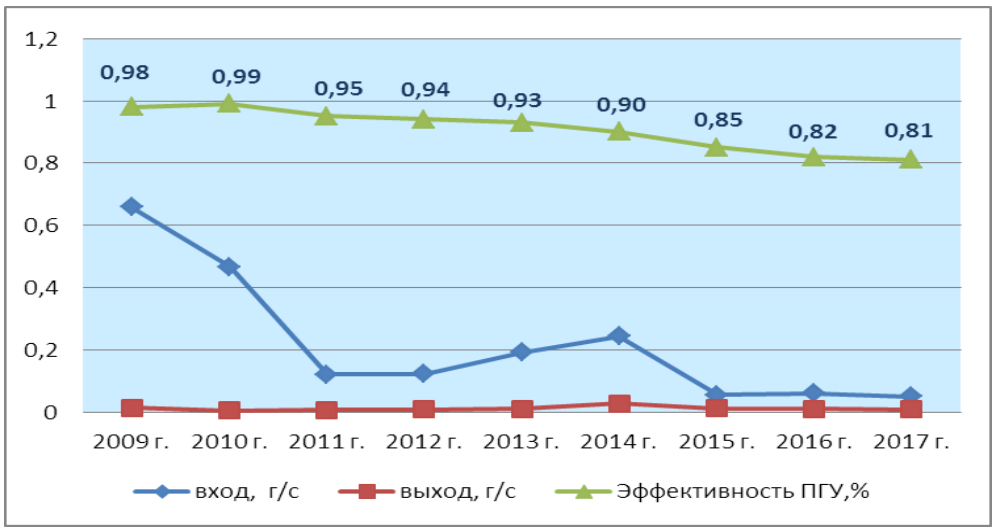


Рис. 4. Значение выбросов (пыли) на входе и выходе за 2009-2017 гг.

Все показания выбросов укладываются в установленные нормы. Однако график показывает ежегодное снижение эффективности работы ПГУ (рис.4). На это влияет множество факторов. Эффективным считается улавливание с показателем более 90%. Резкое снижение эффективности прослеживается в 2015 году. По представленным графикам можно отследить явную зависимость между показателями «подсос/утечка» на входе и «давления» на выходе. Значения данных показателей снижаются. Для предотвращения снижения необходимо увеличить время пребывания пылевоздушной смеси в ПГУ, т.е. увеличить аэродинамическое сопротивление (отрыв потока на поверхности). Для этого необходимо создать дополнительные возмущающие действия, которые будут способствовать разделению пылегазовоздушной смеси. Решением проблемы может стать нанесение на внутреннюю поверхность циклона вихревой системы.

Существуют и альтернативные решения, как зарубежного, так и отечественного производства. Одним из решений является установка фильтров внутри циклона. Это повышает эффективность работы очистной установки, но вместе с этим в разы повышается и стоимость всей системы в целом. Одновременно увеличиваются и эксплуатационные затраты, связанные с необходимостью частой замены фильтров. При этом замена не всегда выполняется с требуемой периодичностью, что приводит к еще более значительному загрязнению атмосферы.

Проанализировав литературу в данной области и рассмотрев существующие аналоги, для

решения данной проблемы мы предлагаем нанести на внутреннюю поверхность циклона систему завихрителей. Это приведет к дополнительному завихрению пылегазовоздушной смеси, в результате чего частицы пыли будут отделены от воздуха и утилизированы. Модернизированная пылегазоочистная установка представлена на рисунке 5.

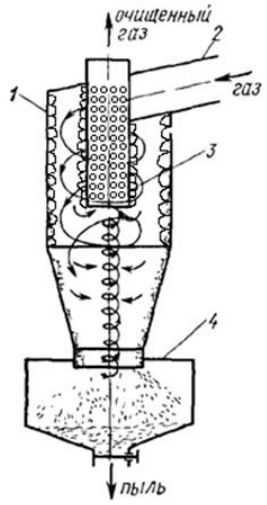


Рис. 5. Модернизированный вид циклона с завихрителями

Где 1 – интенсифицированная поверхность, 2 – входной патрубок, 3 – выходная труба, 4 – бункер для пыли.

Обтекание сферической выемки пылегазовоздушной смесью обуславливает расширение потока в створе выемки за счет локального изменения геометрических характеристик канала. Это расширение потока в створе выемки вызывает торможение движущихся частиц на ее передних скатах. Поток сплошной среды втягивается в выемку, вблизи краев выемки происходит увеличение средней скорости, а в середине – ее замедление.

Для полного подтверждения эффективности предлагаемой системы были проведены расчеты. Результаты показали, что общая эффективность пылеулавливания аппарата составила 94.7% напротив 81%, что определяет эффективное улавливание. Таким образом, применение модернизированной установки приведет к снижению выбросов в атмосферу почти на 15%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 17.2.4.06-90 «Методы измерения скорости и расхода газопылевых потоков».

2. ГОСТ 17.2.4.07-90 «Методы определения давления и температуры газопылевых потоков».

3. ГОСТ 33007-2014 «Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Методы определения запыленности газовых потоков. Общие технические требования и методы контроля».

4. ПНД Ф 12.1.2-99 «Методические рекомендации по отбору проб при определении взвешенных частиц (пыли) в выбросах промышленных предприятий».

5. *Буров, А.С.* Численное и экспериментальное исследование двухфазного закрученного течения в прямоточном циклоне (часть II) / А.С. Буров, Г.А. Глебов // «Труды Академэнерго». Казань. 2016, № 1, с 7-19.

6. *Ветошкин, А.Г.* Процессы и аппараты пылеочистки. Учебное пособие. /А.Г. Ветошкин – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 210 с.

7. Инженерная защита компонентов окружающей среды. Атмосфера: учебное пособие для бакалавров направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» по профилю «Инженерная защита окружающей среды» / сост. Е.Н. Калюкова.– Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 222 с.

MODIFICATION OF A CYCLONE DUST COLLECTOR WITH THE PURPOSE OF REDUCING DUST EMISSIONS IN THE ATMOSPHERE

Shakirova D.
Dianchik10_10@mail.ru
Supervisor: B. Petrov, Candidate of Geographic Sciences, Professor
(Kazan State Power Engineering University, Kazan)

The object of study is a dust removal device. The analysis of the effectiveness of the device. The reasons for the decline in efficiency are identified and all possible alternatives for its improvement are considered. A solution is proposed to modernize the device by intensifying the surface of the cyclone. On the basis of calculations, the economic and environmental efficiency of the proposed solution is proved.

УДК 504.06

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

Шебедя М. М., Чумарова К. С.
mile-na.s@yandex.ru, ksyuhsa.Ch7@yandex.ru
Научный руководитель: Э.В. Гоголь, канд. хим. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данной работе представлен пример очистки воздуха от формальдегида методом фотокаталитического окисления. Приведены реакции распада формальдегида на простые составляющие. Обозначены основные составляющие фильтра, основанного на фотокаталитическом методе очистки воздуха.

Формальдегид - органическое соединение, бесцветный газ с резким запахом, токсичен, относится ко второму классу опасности [1]. Соединение наносит вред здоровью, вызывая зуд, раздражения, сыпь, усталость, сильные головные боли, бессонницу. Формальдегид является одним из канцерогенов [2]. Но несмотря на наносимый вред, вещество получило большое распространение в повседневной жизни. Формальдегид постоянно присутствует в биосфере. Он может образовываться за счет фотохимических реакций и процессов трансформации органических соединений [3,4]. Соединение также имеет антропогенные источники, например автотранспорт. Формальдегид получил непосредственное распространение и в среде обитания человека. В квартирах, офисах формальдегид выделяется из мебели, ДСП, ДВП, фанеры, покрытий, ПВХ и др. Из-за токсичности эти материалы должны быть утилизированы или переработаны, предварительно обезврежены определенными методами[4]. Эмиссия формальдегида сильно зависит от температуры и влажности [5].

Сегодня ПДК формальдегида в воздухе жилья - до 0.01 мг/м^3; в воздухе производств - до 0.05 мг/м^3. [6,7]

Для защиты организма от воздействия формальдегида в помещении существуют фильтры воздуха, основанные на различных принципах действия. Фотокаталитическое окисление – один из методов очистки воздуха от газовых загрязнителей химической и биологической сфер.

Основной компонент фильтра, основанного на данном методе, - пористое стекло. Этот материал способен собирать и удерживать мелкие частицы из окружающей среды. Роль катализатора в фильтре выполняет диоксид титана TiO_2. Последний наносится его на пористое стекло сверхтонким слоем. Под воздействием УФ-лучей (λ от 320 до 400 нм) диоксид титана трансформируется в окислитель. Такой продукт окисляет органику в воздухе до безвредных компонентов воздуха, в основном до углекислого газа, воды и атмосферного азота. Разработка и испытание эффективного воздухоочистительного оборудования представлены в работах [8, 9,10].

В общем виде процесс превращения органических соединений на поверхности TiO_2 под действием УФ-света можно представить в виде схемы (рис. 1) [11]



Рис. 1. Процесс превращения органических соединений на поверхности TiO2 под действием УФ-света, где: ГОС – газообразные органические субстраты

Механизмы фотокаталитической реакции. Основной вклад в механизм фотоокисления вносят фотогенерированные дырки (h^+) и радикалы OH^-. Можно выделить следующие общепринятые стадии образования частиц:

$TiO_2 + hv \rightarrow h^+ + e^-$ (1)

$H_2O_{(адс.)} \rightarrow OH^- + H^+$ (2)

$OH^- + h^+ \rightarrow OH^+$ (3)

$O_{2(адс.)} + e^- \rightarrow O_2^-$ (4)

$2O_2^- + 2H_2O_{(адс.)} \rightarrow 2OH^+ + 2OH^- + O_2$ (5)

Дырки (h^+), образовавшиеся в результате облучения TiO_2 УФ- светом с длиной волны меньше 400 нм, могут взаимодействовать с адсорбированными молекулами воды с образование радикалов OH+, в то время как превращение фотогенерированного электрона происходит через две последовательные стадии: 1) переход электрона из объема или с поверхности TiO_2 на молекулу адсорбированного кислорода (стадия 4); 2) взаимодействие O_2^- с адсорбированной водой с образзованием радикалов OH^+ (стадия 5). На поверхности TiO_2 заряд не накапливается, следовательно, все указанные реакции проводятся одновременно. Таким образом, можно сделать вывод о том, что для эффективного образования высокореакционноспособных частиц требуется не только облучение поверхности УФ-светом, но и наличие паров воды и кислорода.

Рассмотрим механизм фотокаталитического окисления одного из ЛОВ-формальдегида [12]. Считается, что радикалы OH^+ и дырки взаимодействуют с адсорбированной молекулой HCHO по реакциям:

$HCHO_{(адс.)} + OH^+ \rightarrow HCO^+ + H_2O$ (6)

$HCO^+ + OH^+ \rightarrow HCOOH_{(адс.)}$ (7)

$HCOOH_{(адс.)} + 2h^+ \rightarrow CO_2 + 2H^+$ (8)

Процессы, происходящие при фотоокислении органических соединений на поверхности TiO2 с участием различных носителей заряда, представлены на рис. 2 [11, 13]

Итак, реакции 6-8 доказывают, что фотокаталитический метод очищения воздуха от формальдегида разлагает опасное соединение на составляющие: углекислый газ CO_2 и 2 молекулы водорода.

В газовую фазу выделяются лишь конечные продукты окисления – CO_2 и H_2O.

Разложение формальдегида подтверждают испытания очистителя, базирующегося на методе фотокаталитического окисления [14]: концентрация формальдегида упала с 0,1 мг/м3 до 0,001 мг/м3 (снизилась на 99%). Важно отметить, что каталитический метод помогает справиться не столько с формальдегидом, но и с другими загрязняющими веществами, такими как аммиак, бензол, толуол и другими.

К плюсам относят высокий уровень очистки, безотходный способ утилизации мусора и бактерий, низкое энергопотребление, безопасность, способность к самоочищению, экологичность, простоту обслуживания.

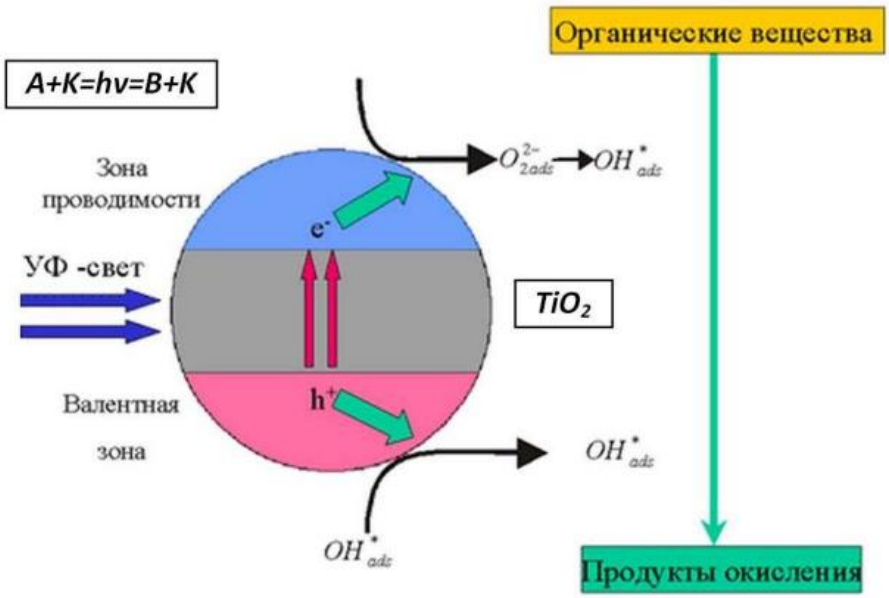


Рис.2 Процессы, происходящие при фотоокислении органических продуктов на поверхности TiO_2

Недостатком этого процесса является то, что фотокаталитические очистители также производят крошечные количество озона ($_{O3}$), химического варианта кислорода в воздухе это само по себе является токсичным загрязнителем воздуха. Производители очистителей утверждают, что количество произведенного озона находится в пределах нормативного предела (0,05 части на миллион), предложенного FDA США, но даже в этом случае, это нужно иметь в виду. Также устройство основанное только на фотокатализе бессильно перед неорганическими загрязнениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Лазарев Н.В., Левина Э.Н*. Вредные вещества в промышленности. Том 1 // с.505-509

2. *Валеев Т.К., Сулейманов Р.А., Бактыбаева З.Б., Рахматуллин Н.Р., Егорова Н.Н*. Оценка уровня канцерогенного риска здоровью населения, связанного с загрязнением атмосферного воздуха и питьевой воды (на примере техногенных территорий республики Башкортостан) // сборник материалов международной научно-практической конференции : в 2 т., 2018

3. *Филов В.А*. Вредные химические вещества. // Галоген- и кислородсодержащие органические соединения: Справочник, СПб.: Химия,1994

4. *Гоголь Э.В., Мингазетдинов И. Х*. Полезная модель для переработки полимерных отходов // Химия и инженерная экология: - Казань, 01-03 июля 2015 г. С. 44

5. *Русланова К.Р.* Экологическая опасность в квартире // Избранные доклады 61-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых: -Томск, 2015

6. МУК 4.1.1045-01 ВЭЖХ определение формальдегида и предельных альдегидов (С2-С10) в воздухе

7. ГН 2.2.5.686-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы

8. *Курылев В.В., Муравьев В.А.* Фотокаталитический метод очистки воздуха от химических и биологических примесей // Межвузовский сборник научных трудов. – М.: Издво МГУПИ, 2007.

9. *Першин А.А., Курылев В.В*. Новые технологии очистки воздуха от вредных выбросов в промышленных помещениях // Проблемы промышленной безопасности и охраны труда в металлургии: труды VII Международной научно- практической конференции. – М.: МИСиС,

2003. – С. 24–25.

10. Способ приготовления катализатора на основе диоксида титана:патент № RU2243033CI, 27.12.2004 г.

11. *Савичев Е.Н.* Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6. – № 11

12. *Ao C.H., Lee S.C., Yu J.H.* // Appl. Catal. B. 2004. Vol. 54. P. 41-50

13. *Mills A., LeeS.-K.* A web-based overview of semiconductor photochemistry-based current commercial applications, I. Photochemistry and Photobiology. F. 152, 233-247, 2002.

14. *Курылев В.В., Владимиров С.Н.* Испытания фотокаталитического очистителя воздуха в условиях, приближенных к условиям металлургического цеха // Фундаментальные исследования: - Пенза, 2014. Таблица 2

THE PHOTOCATALYTIC METHOD OF AIR CLEANING

Shebedya M., Chumarova K.

mile-na.s@yandex.ru, ksyuhsa.ch7@yandex.ru

Supervisor: I. Gogol, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

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

Photocatalytic oxidation as a method of air purification from formaldehyde. reactions of formaldehyde decomposition into simple components are presented . The main components of the filter based on the photocatalytic method of air purification are indicated.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 5
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ПОДСЕКЦИЯ 5.2
УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Абдрашитов Р.Х., Максимова Т.А.
АНАЛИЗ СХЕМ ТЕРМОРЕГУЛЯТОРОВ ВЕНТИЛЯТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА……..5
Акбиров Р.Р.
ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ РЕГУЛЯТОР ОСНОВАННЫЙ НА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОМ НАБЛЮДАТЕЛЕ ДЛЯ МНОГОАГЕНТНЫХ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ СИСТЕМ……8
Алексеев Н. Н.
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БПЛА……15
Батин Е.М.
СИСТЕМА ФАСОВКИ И ВЗВЕШИВАНИЯ КОНТАКТОВ……..……..21
Белов Д.А.
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ГИРОВЕРТИКАЛИ МАНЕВРЕННОГО ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА……..……..24
Богданов С.О.
К ПРОДОЛЬНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В АТМОСФЕРЕ ПРИ ВОЗМУЩЕНИЯХ……29
Валиева С.П., Ступницкий П.П.
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ВЕРТОЛЕТОМ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ С ПРОГНОЗИРУЮЩИМИ МОДЕЛЯМИ……35
Васянов В.В.
СТЕНДОВАЯ КАЛИБРОВКА БЛОКА МЭМС ДАТЧИКОВ……42
Габитов А.А., Гусев Р.
МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССА КЛАССИФИКАЦИИ ОБРАЗОВ В РОБОТОТЕХНИКЕ ……..…44
Гайдуков Е.В., Нестерук С.С.
ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО АППАРАТА ОЦЕНИВАНИЯ ТОЧНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ……..….49
Гнусарёва А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА……55
Губайдуллин Ш.И.
РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВУХЗВЕННЫМ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ……..….59
Евстафьев В.В.
СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ……..…..63
Зельцер А.Г., Терещенко И.П.
АВТОМАТИЧЕСКОЕ РУЛЕНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА…..…66
Зюляева А.К.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГУРВИЦА И МЕТОДА ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СИНТЕЗА ОДНООСОНОГО СИЛОВОГО ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА……..…73
Идиатуллин Б.М., Абдуллин А.Л.
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТНОЙ ПОМПЫ ……...……82

Каратаева М.В.
НЕПРЕРЫВНЫЕ УПРАВЛЕНИЯ С АСИМПТОТИЧЕСКИМ ПРИВЕДЕНИЕМ СИСТЕМ В СКОЛЬЗЯЩИЕ РЕЖИМЫ ПРИ ВОЗМУЩЕНИЯХ……..……84
Курмашев А.Р.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛЕГКОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ МАЛОИНВАЗИВНОГО ХИРУРГИЧЕСКОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА…….…….91
Лукин К.О.
К ВОПРОСУ О РАВНОВЕСНОМ ПОЛОЖЕНИИ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ГИРОМАЯТНИКА……...……95
Лукин К.О.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ТРАДИЦИОННОГО И LQI РЕГУЛЯТОРОВ В КОНТУРЕ МЕЖРАМОЧНОЙ КОРРЕКЦИИ ОСГС…….…….100
Сабирзянов А.С.
НЕОРТОГОНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ……...….106
Самулкин Ф.В.
ГИРОСКОП НА СФЕРИЧЕСКОЙ ШАРИКОПОДШИПНИКОВОЙ ОПОРЕ С ЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ДАТЧИКА МОМЕНТА……...109
Соколова А.А.
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ КАНАЛА РУЛЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИ УСТРАНЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ……...……..114
Спациян А.В.
СИНТЕЗ НАБЛЮДАТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ ПОДВЕСКОЙ АВТОМОБИЛЯ…….……117
Спиридонов И.О., Кудрявцев И.Д.
СТЕНД ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА…….……122
Стрелков А.Ю., Магнич В.И.
УЧЕБНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГИРОПОЛУКОМПАСА……..127
Ступницкий П.П., Валиева С.П.
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СЛЕДОВАНИЯ ПО ПУТИ С ПРОГНОЗИРУЮЩИМИ МОДЕЛЯМИ…….…..133
Фаюршин Р.Р.
РОБОТ БАЛАНСИР НА УНИФИЦИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЕ АРДУИНО…….….138
Хазимуратов А.Р.
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ШТАНГИ БПЛА НА ЭТАПЕ ДОЗАПРАВКИ……..141
Чадаев В.С.
ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ ГОЛОВКИ……...145

СЕКЦИЯ 5.3
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Бакшаев М.К.
РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ЭШЕЛЛЕ-СПЕКТРОГРАФА…….....151
Газизова В.Л., Ганиева А.И.
РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В СТЕКЛЕ ТЕНЕВЫМ МЕТОДОМ…….154
Гасанов Р.А., Гусейн-заде Б.Э., Алиева И.Н.
АКУСТООПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА……...….158

Гильфанов А.Р., Гуськов И. А., Новиков А.Г
СЕЛЕКТИВНОЕ ОТРАЖАЮЩЕЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ КОМБИНЕРА НАШЛЕМНОЙ СИСТЕМЫ ИНДИКАЦИИ……...163
Гилязов А.И.
СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ МОРСКОГО КОМПЛЕКСИРОВАННОГО НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА ПО УГЛУ МЕСТА…..…167
Дадакин В.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ СВЕТОПРОПУСКАНИЯ И СВЕТОРАССЕЯНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ…….175
Егошин Д.А., Миндубаев А.Р., Садрутдинов А.И.
ПРИМЕНЕНИЕ ОСЕВЫХ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ГОЛОГРАММ ДЛЯ АТТЕСТАЦИИ ОСНОВНЫХ ПРОБНЫХ СТЕКОЛ ПЕРВОГО КЛАССА……181
Заичко К.В., Шарангович С.Н.
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА……..184
Саяркина А.С., Егошина Н.А.
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВИЗОРА В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ……...186
Чеплаков А.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМ ПРИБОРОМ……..190
Чеплаков А.Н.
ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА С РАВНОМЕРНОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ…….194

СЕКЦИЯ 5.4
СТАНДАРТИЗАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ И МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА В АВИА- И МАШИНОСТРОЕНИИ

Аскаров И.Р., Шакиртов А.И.
ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАШИН ХОЛОДНЫМ ЖЕЛЕЗНЕНИЕМ…….200
Булатова Е. А., Павлова А. А.
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ……203
Галимзянова Э.Б., Мавликиева А.Р.
РОЛЬ РУКОВОДИТЕЛЯ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИИ……207
Гетман П.В., Мингалеев А.В.
УСТАНОВКА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ГАЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА…….209
Гибадуллина А.Р., Яппарова А.Ф.
EMAS: ЧТО ЭТО И С ЧЕМ ЕГО ЕДЯТ?.....215
Гиззатуллина Г. З., Рябцева Л. В.
SWOT – АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ КОРЕЙСКОЙ КОСМЕТИКИ……..218
Гиматова К.В., Гурьянова П.С.
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДАТЧИКОВ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ……..222
Глухова Е. И., Воробьева Е. В.
АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ СОЗДАНИЯ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ОБЪЕМЕ С ЖИДКОСТЬЮ……225

Кутдусова А.И.
ДИНАМИКА И НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....229
Маврин А.И.
ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОИЗВОДИМЫХ АВТОКОМПОНЕНТОВ. СТАТИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ (SPC).…231
Сафина И.А., Гатиятуллина Н.Р., Кутдусова А.И.
ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ КРИВЫХ ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИИ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ДВУМЕРНОГО ЕГРЕССИОННАГО АНАЛИЗА…….236
Сафина И.А., Лысова А.Д., Шокурова Е.В.
ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ…….239
Толпегина Е.А.
СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНОГО СТАНДАРТА КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОСТА……...242
Шабалина О.К.
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБОПОРШНЕВОЙ ПОВЕРОЧНОЙ УСТАНОВКИ…….…..245
Яблонская Р.Т.
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СЕРТИФИКАЦИИ ЭКЗЕМПЛЯРА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ……..…….248

ПОДСЕКЦИЯ 5.5
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Ахмадеев Р. Д.
АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ……...….252
Зайнуллин А.А.
РАСЧЕТ НА ПОТЕРЮ НАПРЯЖЕНИЯ РАЗОМКНУТЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА……..255
Зайнуллин А.А.
РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА……259
Каримов А. Р.
МОТОР-КОЛЕСО ДЛЯ ШАССИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА……..262
Каримов Д.Р.
ЭЛЕКТРОМАГНИТЫЙ РЕДУКТОР……...268
Катков В. И.
АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ И СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ В ИЗОЛЯТОРАХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ……..274
Матхаликов А.Р.
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИК СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ…….277
Минияров А.Х., Веселов А.М.
ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОГО ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБМОТКОЙ……..282
Мищук И.А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ МАСС В РАЗЛИЧНЫХ СФЕРАХ ИНЖЕНЕРИИ……..286

Петров А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
С ОБМОТКОЙ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ……291
Петров А.А.
СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
С ПОВЫШЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ……...297
Проничев А.В., Солдусова Е.О.
АСПЕКТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРИЛОЖЕНИЯ АЛГОРИТМА
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ……...299
Рыбушкин Н.А.
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ХВОСТОВОГО ВИНТА ВЕРТОЛЕТА……..303
Рыжов Б.А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ
НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ……..307
Саяхов И.Ф.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ
ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ……309
Смирнов П.В.
СИСТЕМА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
СЕТЯХ 6-10 КВ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ…….315
Смирнов П.В.
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ EPLAN
В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ……...318
Солдусова Е.О., Проничев А.В.
АНАЛИЗ РЕЖИМОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ ПРИ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИННОВАЦИОННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ…….....321
Спирин А.А.
АНАЛИЗ СХЕМ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ РУЛЕВЫХ ПРИВОДОВ..325
Студнева Е.Е.
РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
МОТОР-КОЛЕСА ДЛЯ САМОЛЕТА С УЧЕТОМ МАГНИТНЫХ ПОТЕРЬ…….330
Фатыхов Д.А., Исмагилов Т.А.
АЛЮМИНИЙ-ИОННЫЕ БАТАРЕИ КАК БУДУЩЕЕ ЭЛЕКТРОКАРОВ…….335
Хайруллин Б.Х., Вотяков И.О.
ЭЛЕКТРОМОБИЛИ КАК БУДУЩЕЕ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ……...339
Хамадеев Р.Р., Сахипзадин Н.Р., Джалимов М. Р.
СИСТЕМА ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ
ПРИ АВАРИЯХ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ……..342
Чувиляев О.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОНВЕРТОРА В ДВИГАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ……...345
Чугунов Д.Н.
АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДА В СРАВНЕНИИ С ДРУГИМИ
ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ……...350

ПОДСЕКЦИЯ 5.6
ВОПРОСЫ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Аль Дарабсе А.М.Ф., Маркова Е.В., Миллер В.В.
АНАЛИЗ ЗАТРАТ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ……354
Бану В.А.
ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОСТИ ТРУДОВОГО ПРОЦЕССА АВИАДИСПЕТЧЕРСКОГО ПЕРСОНАЛА……...……..358
Каримова Л.Н.
БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ…….360
Неклюдов Д.А.
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПЕННОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ……...363
Смольяков А.Н.
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРОШКОВЫХ СОСТАВОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ……...365
Титов Е.В., Устюгов Д.В.
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ЭКРАНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ……...368
Уткин А.В.
КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАК СИСТЕМООБРАЗУЮЩИЙ ФАКТОР СНИЖЕНИЯ РИСКОВ…….371
Хлыщенко Ю.И.
ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИТЧЕСКИХ ПОЛЕЙ, ГЕНЕРИРУМЫХ ГАЗОВЫМИ ПОТОКАМИ ТУРБОВИНТОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ……...375

ПОДСЕКЦИЯ 5.7
ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Абзалова А.Г.
ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА ТНРС...382
Абзалова А.Г.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ……386
Васильева А.С.
ОЧИСТКА ВОД НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ФИЛЬТРАЦИОННО-СОРБЦИОННЫМ МЕТОДОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛОДОВЫХ ОБОЛОЧЕК ЗЕРЕН ПШЕНИЦЫ…….390
Васильева М.А., Шагидуллин А.Р.
МОНИТОРИНГ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ АВТОТРАНСПОРТА В ГОРОДЕ КАЗАНИ……..392
Васильева М.А., Якунин С.А.
МОНИТОРИНГ ФОРМАЛЬДЕГИДА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ……..395
Габдрахманова Г.Н.
ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ФОНОВОГО УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД Р. ВОЛГА…….399
Гаврилов М. М.
ТЕМПЕРАТУРНЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССА БИОДЕСТРУКЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ……..402

Гидиятуллина И.И.
ГАЗОВЫЙ ХРОМАТОГРАФ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ……..407
Гидиятуллина И.И.
ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ ЭКСТРУЗИЕЙ…….411
Гисматуллина А.И.
РАСЧЕТ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ КОМПОНЕНТОВ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ВАХИТОВСКОГО РАЙОНА Г. КАЗАНИ……..415
Гисматуллина А.И.
ЭМИССИЯ ФОРМАЛЬДЕГИДА ИЗ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ……418
Глущенко И.А.
МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В ЗОНЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АТП……...421
Закирова Л.И.
КОМБИНИРОВАННЫЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ СЕПАРАТОР В СИСТЕМЕ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ……..423
Закирова Л.И.
УСТРОЙСТВО БЫСТРОСЪЕМНОЙ КАССЕТЫ ДЛЯ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД…….425
Ибрагимова Э.А.
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ФИЛЬТРА ВОЗДУХООЧИСТКИ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ПЕЛЛЕТ ИЗ ОТХОДОВ ДСП……428
Ибрагимова Э.А.
ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ НОВО-САВИНОВСКОГО РАЙОНА Г.КАЗАНИ……...431
Колесников А.В., Давыдкова Т.В., Федулов М.А.
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СБРОСА ЖИДКИХ ВЫСОКОТОКСИЧНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ…….434
Кононова Р.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ОТХОДОВ СВИНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА…….437
Кононова Р.В.
СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ СВИНОВОДСТВА В БИОГАЗ И УДОБРЕНИЕ..440
Линева О.С.
БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА КАК ЭЛЕМЕНТ ЗАЩИТЫ ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ОТ ТЕХНОГЕННЫХ ОПАСНОСТЕЙ……...443
Линева О.С.
РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ИЛОВОЙ СМЕСИ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ВТОРИЧНОМ ОТСТОЙНИКЕ ПРИ БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД……446
Магизова Э.Ф., Курбаналиева Ф.Р.
ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ИОНОВ АЛЮМИНИЯ (III) ЩЕЛОЧНЫМ РЕАГЕНТОМ, ОБРАЗУЮЩИМСЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ПЛОДОВЫХ ОБОЛОЧЕК ЗЕРЕН ПШЕНИЦЫ МЕТОДОМ НАТРОННОЙ ВАРКИ……..449
Муллагалеева Э.Н.
СНИЖЕНИЕ СТЕПЕНИ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ ПАРА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ……..454

Насыйрова Г.В.
СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЯ
ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА…….456
Николаева Е.С.
ОЧИСТКА ВОД НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА
ФИЛЬТРАЦИОННО-СОРБЦИОННЫМ МЕТОДОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛОДОВЫХ ОБОЛОЧЕК ЗЕРЕН ЯЧМЕНЯ……..459
Платонова М.С.
ПАРАМАЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ
ХЛООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ВЫБРОСАХ……..461
Платонова М.С.
СОРБЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ДИОКСИНОВ
В ВЫБРОСАХ ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ…….464
Теляшева Л.Р.
БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛА…….468
Федотова А.Ю.
ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ ОЧИЩЕННЫХ ОТ ИОНОВ
ЖЕЛЕЗА ВОД ТРАДИЦИОННЫМ И АЛЬТЕРНАТИВНЫМ МЕТОДОМ……471
Филиппов А.В.
ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ДОПОЛНЕНИЯ В ВОДНЫЙ МОНИТОРИНГ РФ……...473
Филиппов А.В.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СПОСОБОМ
ДВУХЭТАПНОЙ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ПЕРСОНАЛА……..476
Хусаинова А.А., Султанова А.Ф.
ОЧИСТКА ВОД ОТ РАСТВОРЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ
РАСТИТЕЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ……...481
Цой А.Б., Саматов А.А.
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТОПЛИВ……485
Чаптарова Е. А., Фазуллина А. А.
ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКИ
АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОЧИСТКУ ВОД ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА……487
Чивелёва М.Д., Горина Л.Н.
АКУСТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ УРБАНИСТИЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ……..491
Шагидуллин А.Р., Магдеева А.Р., Габдрахимова В.А.
ПРИМЕНЕНИЕ СВОДНЫХ РАСЧЕТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА
КОРРЕКТНОСТИ УСТАНОВЛЕННЫХ НОРМАТИВОВ
ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В Г. НИЖНЕКАМСК……...494
Шадрина А.В.
ОЧИСТКА ВОД НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА
ФИЛЬТРАЦИОННО-СОРБЦИОННЫМ МЕТОДОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛОДОВЫХ ОБОЛОЧЕК ЗЕРЕН ОВСА……497
Шакирова Д.Р.
СНИЖЕНИЕ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ
ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ ЦИКЛОННОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ……. 499
Шебедя М. М., Чумарова К. С.
ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ВОЗДУХА……..503

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. 64,50.
Бумага офсет 80 г. Печать ризографическая.
Тираж 30 экз.

