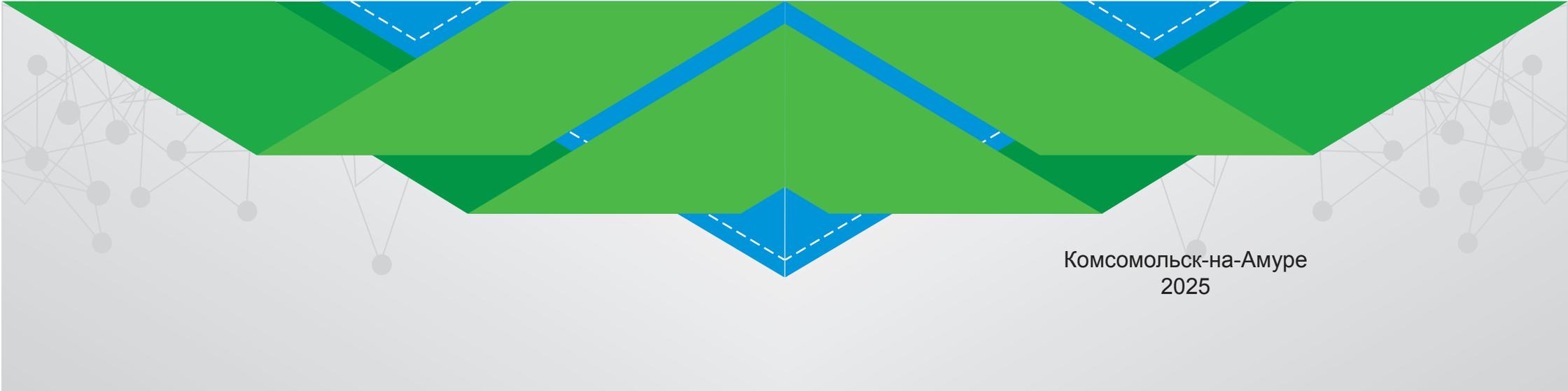


# НАУКА, ИННОВАЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ: ОТ ИДЕЙ К ВНЕДРЕНИЮ

Часть 1

Материалы III Всероссийской  
научно-практической конференции молодых ученых  
Комсомольск-на-Амуре, 11-12 декабря 2024 г.



Комсомольск-на-Амуре  
2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

**НАУКА, ИННОВАЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ:  
ОТ ИДЕЙ К ВНЕДРЕНИЮ**

Часть 1

Материалы III Всероссийской научно-практической конференции  
молодых ученых  
Комсомольск-на-Амуре, 11-12 декабря 2024 г.

Комсомольск-на-Амуре  
2025

УДК 001:621  
ББК 95.4  
Н34

*Рецензент* – А. А. Буренин, главный научный сотрудник,  
член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор  
(Институт машиноведения и металлургии, ХФИЦ ДВО РАН)

*Редакционная коллегия:*

А. В. Космынин, доктор технических наук, профессор, отв. ред. ;  
П. А. Саблин, кандидат технических наук, доцент;  
О. А. Красильникова, кандидат технических наук;  
А. С. Гудим, кандидат технических наук, доцент;  
И. А. Трещев, кандидат технических наук;  
И. Н. Журбина, кандидат физико-математических наук  
(г. Комсомольск-на-Амуре, КнАГУ)

**Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению** : материалы Всеросс.  
Н34 науч.-практ. конф. молодых ученых, г. Комсомольск-на-Амуре, 11-12 декабря  
2024 г. / редкол. : А. В. Космынин (отв. ред.) и др. – Комсомольск-на-Амуре :  
ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2025. – Ч. 1. – 403 с.

ISBN 978-5-7765-1596-5 (Ч. 1)  
ISBN 978-5-7765-1595-8

Материалы сборника освещают научные проблемы инновационного развития современной техники и технологий, объединяя усилия студентов, аспирантов, соискателей, молодых учёных и специалистов для решения актуальных задач науки и техники.

Публикуемые материалы будут полезны преподавателям вузов, руководителям и специалистам предприятий, а также студентам и аспирантам, проявляющим интерес к данной проблематике.

Материалы публикуются в авторской редакции. За содержание и достоверность статей ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей. При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

***Конференция приурочена к 300-летию российской академии наук и предстоящему 70-летию Комсомольского-на-Амуре государственного университета.***

УДК 001:621  
ББК 95.4

ISBN 978-5-7765-1596-5 (Ч. 1)  
ISBN 978-5-7765-1595-8

© ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2025

## **СЕКЦИЯ. МАШИНОСТРОЕНИЕ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

УДК 621.10

Акулина Александра Анатольевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Akulina Alexandra Anatolevna, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Немолякина Екатерина Андреевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Nemolyakina Ekaterina Andreevna, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Щелкунов Евгений Борисович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Schelkunov Evgeniy Borisovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «КАЧАЛКА» ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-ПЕЧАТИ INCREASING THE EFFICIENCY OF MANUFACTURING A “ROCKER” PART BY USING 3D PRINTING**

Аннотация. Работа посвящена разработке технологии изготовления детали «качалка». Цель работы: повышение эффективности изготовления детали «качалка». Повышение эффективности достигается применением в качестве метода получения заготовки 3D-печати методом выборочного лазерного плавления, что позволило снизить количество отходов материала детали в стружку и сократить общее время изготовления детали.

Abstract. The work is devoted to the development of a technology for manufacturing a "rocker" part. The purpose of the work: increasing the efficiency of manufacturing a "rocker" part. The efficiency increase is achieved by using selective laser fusion as a method for obtaining a 3D-printed blank, which made it possible to reduce the amount of waste material of the part in chips and reduce the overall time of manufacturing the part.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, 3D-принтер, заготовка, выборочное лазерное плавление.

Keywords: additive technologies, 3D printing, 3D printer, blank, selective laser melting.

#### **Введение**

На сегодняшний день аддитивные технологии являются одним из наиболее перспективных направлений, активно внедряющихся в различные отрасли, такие как машиностроение, авиа- и ракетостроение, медицина, строительство и др. В отличие от традиционных технологий изготовления деталей путем удаления с заготовки лишнего материала в аддитивных технологиях изделие получается путем послойного нанесения материала детали и скрепления слоев между собой [1, 2, 3]. Благодаря этому аддитивные технологии обладают рядом преимуществ, главными из которых являются быстрота изготовления, малое количество отходов, возможность создавать сложные по форме нетехнологичные изделия без швов и сварных соединений.

Интеграция методов аддитивных технологий в существующие технологические процессы в ряде случаев позволяет существенно повысить эффективность производства.

Целью работы является повышение эффективности изготовления детали «качалка». В работе представлена последовательность изготовления детали «качалка» с применением 3D-печати.

### Основная часть

Деталь «качалка» (рисунок 1), изготавливаемая из жаропрочного алюминиевого сплава АК4-1Т1 ОСТ 1 90073-85, имеет сложную геометрическую форму с габаритными размерами 46x31x30 мм. К отдельным элементам детали предъявляются повышенные требования к точности и шероховатости.

В базовом технологическом процессе изготовления детали «качалка» в качестве заготовительной операции применяется горячая штамповка. Основными механическими операциями являются: обработка на фрезерном станке с ЧПУ, обработка отверстий на координатно-расточном станке и окончательная слесарная обработка. Также в технологическом процессе предусмотрены отжиг, анодное оксидирование с наполнением в растворе хроматов и нанесение грунтовки ЭП-0215. Коэффициент использования материала по базовому технологическому процессу составляет 0,26.

Применение оборудования и оснастки для выполнения операции штамповки существенно удорожает процесс производства детали. Необходимость удаления с заготовки 74% ее объема влечет высокие затраты на режущий инструмент и также повышает трудоемкость и себестоимость производства детали.

В предлагаемом технологическом процессе в качестве заготовительной операции выбрана 3D-печать методом выборочного лазерного плавления SLM из порошкового сплава AlSi10Mg, являющегося аналогом сплаву АК4-1Т1 [2, 3].

Изготовление изделий методом 3D-печати не требует использования технологической станочной оснастки. Заготовка требуемой формы выращивается на подложке в камере построения без использования дополнительных устройств для ориентации заготовки в рабочем пространстве печатающего устройства. В этом заключается универсальность аддитивных технологий.

Для изготовления заготовки выбран 3D-принтер отечественного производства, работающий по методу выборочного лазерного плавления модели 3DLAM Maxi. 3D-принтер оснащен волоконным лазером IPG photonics мощностью до 1000 Вт и рабочей камерой с рабочей зоной цилиндрической формы, имеющей размеры: диаметр 317 мм, высота 350 мм. Толщина наносимого слоя варьируется от 20 до 100 мкм.

Размеры области построения позволяют выращивать одновременно несколько заготовок детали качалка.

Заготовка спроектирована с учетом припусков на механическую обработку поверхностей, контактирующих с поверхностями ответных деталей и предназначенных для исполнения деталью своего служебного назначения. Такими поверхностями являются отверстия с точностью по седьмому качеству и шероховатостью Ra 1,6 и поверхности проушин с шероховатостью Ra 6,3. На рисунке 2 представлена 3D-модель заготовки. Коэффициент использования материала при выбранном методе получения заготовки составляет 0,76. Трудоемкость изготовления составляет 180 минут.

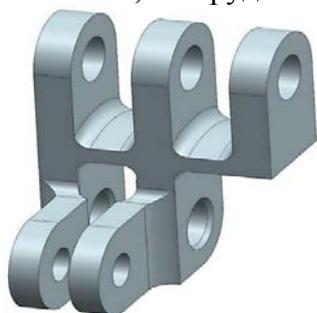


Рисунок 1 – 3D-изображение детали «качалка»

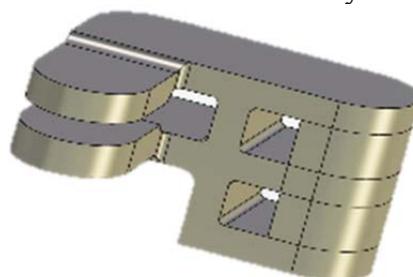


Рисунок 2 – 3D-модель заготовки

Последовательность изготовления детали представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Последовательность изготовления детали

Номер, наименование операции	Содержание операции
005 Заготовительная	Печать заготовки.
010 Термическая	Отжиг заготовки.
015 Ленточно-пильная вертикальная	Отделение заготовки от платформы построения.
020 Контрольная	Проверка на соответствие конструкторской документации.
025 Фрезерная программная	Обработка отверстий, поверхностей проушин. Удаление остатков элементов поддержек.
030 Контрольная	Проверка на соответствие конструкторской документации.
035 Гальваническая	Анодирование в стандартном электролите с последующим хроматным наполнением.
040 Окрасочная	Нанесение грунтовки.
045 Контрольная	Проверка на соответствие конструкторской документации.

### Заключение

В работе представлена предлагаемая последовательность технологических операций обработки детали качалка. От базовой данная последовательность отличается тем, что методом получения заготовки является 3D-печать методом выборочного лазерного плавления, позволяющим изготавливать изделия высокой сложности с малым количеством отходов.

Благодаря смене метода получения заготовки в новом технологическом процессе удалось снизить количество отходов материала детали в стружку и сократить общее время изготовления детали.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Жуков, Г. А. Разработка конструкции и технологии изготовления сопла эжектора / Г. А. Жуков, А. И. Пронин // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, в 3 ч., Комсомольск-на-Амуре, 06–10 апреля 2020 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. – С. 54-57. – EDN CDMLOB.
2. Акулина, А. А. Анализ методов 3D-печати применительно к изготовлению детали качалка / А. А. Акулина, Е. Б. Щелкунов // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 4-6. – EDN CSNSUT.
3. Немолякина, Е. А. Аддитивные технологии в авиастроении / Е. А. Немолякина, Е. Б. Щелкунов // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 78-80. – EDN JYDJYG.

УДК 621.791.9

Боровской Илья Вячеславович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Borovskoy Ilya Vyacheslavovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Плетнев Никита Олегович, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Pletnev Nikita Olegovich, senior lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

Григорьев Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Grigoriev Vladimir Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ ПРИ ПОМОЩИ УСТРОЙСТВА ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ**  
**STUDY OF OBTAINING SPECIFIED GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE WELDED LAYER USING A FORCED FORMING DEVICE**

Аннотация. Проведено исследование возможности получения заданных геометрических параметров наплавленного слоя при помощи устройства принудительного формирования. Цель исследования заключалась в получении поверхности, имеющей минимальную шероховатость для уменьшения затрат на механическую обработку. Исследуемые образцы получены методом аддитивной электродуговой наплавки (WAAM метод) при помощи сварочной проволоки Св-08Г2С. Определены перспективы дальнейшего исследования.

Abstract. The possibility of obtaining the specified geometric parameters of the deposited layer using a forced formation device has been investigated. The aim of the study was to obtain a surface with minimal roughness to reduce the cost of machining. The studied samples were obtained by the method of additive electric arc welding (WAAM method) using the Sv-08G2C welding wire. The prospects for further research have been determined.

Ключевые слова: аддитивная наплавка, формирование слоя, 3D-печать металлом.

Key words: additive surfacing, layer formation, 3D metal printing.

**Введение**

На сегодняшний день 3D-печать металлами является технологически сложным направлением аддитивного производства. С помощью 3D-печати металлами можно получить сложные в изготовлении детали: со сложными внутренними поверхностями и структурами, криволинейными формами и т.п., а также данный метод производства позволяет уменьшить: расход материалов, трудозатрат, и время на изготовление деталей [1, 2]. Аддитивные технологии подразделяются на несколько видов 3D-печати, широко распространённые из них – электродуговая наплавка (Wire and Arc Additive Manufacturing, WAAM), лазерная наплавка порошками (Laser Engineered Net Shape, LENS), послойное сплавление порошка (Selective Laser Melting, SLM). На сегодняшний день наиболее простым методом 3D-печати металлами является WAAM метод, используемый в данном исследовании [3, 4].

Так как WAAM метод имеет ряд нерешенных задач, которые не позволяют полностью отказаться от других способов изготовления деталей, то задача является актуальной. Одной из особенностей данной технологии является необходимость сложной механической обработки изделий [5]. Цель данного исследования заключается в изучении возможности получения заданных геометрических параметров при помощи устройства принудительного формирования наплавленного слоя.

### Основная часть

Для проведения исследования изготовлен лабораторный стенд, включающий в себя: координатный стол портального типа с числовым программным управлением, блок управления, компьютер с управляющей программой (Mach3), источник питания с подающим механизмом (PIONIER MIG 220/2).

В качестве сварочного материала была выбрана проволока ESAB Св-08Г2С, диаметром 0,8 мм. Химический состав проволоки ESAB Св-08Г2С представлен в таблице 1. В качестве защитной среды использовался углекислый газ.

Таблица 1 - Химический состав проволоки ESAB Св-08Г2С (%)

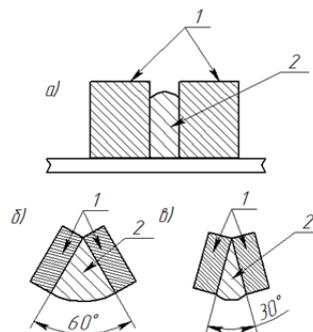
C	Mn	Si	P	S
0,05 - 0,11	1,80 - 1,90	0,70 - 0,95	до 0,030	до 0,025

Устройство принудительного формирования наплавленного слоя сделано на основе графитовых ползунков размером 40×30×10 мм. Внешний вид одного из ползунков представлен на рисунке 1. Графит был выбран за основу благодаря своим токопроводящим свойствам, и высокой температурой плавления, данные характеристики графита позволяют поддерживать стабильную сварочную дугу, снизить риск обрыва цепи.

В ходе исследования были проведены ряд экспериментов, с различной постановкой графитовых ограничителей. Используемые постановки графитовых ограничителей представлены на рисунке 2.



Рисунок 1 – Графитовый ползун



1 – графитовые ограничители;  
2 – наплавленный слой

Рисунок 2 – Способы постановки графитовых прижимов:

а – параллельная постановка;  
б – постановка с углом 60°; в – постановка с углом 30°

По итогам экспериментов были получены образцы, представленные на рисунке 3.

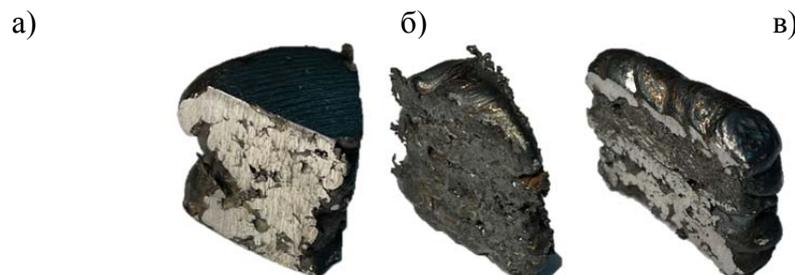


Рисунок 3 – Образцы, полученные при различном расположении ползунков:  
а – под углом 60°; б – под углом 30°; в – параллельная постановка

Как видно из рисунка 3 в месте примыкания графитовых ползунов не наблюдается натеков металла, что невозможно достигнуть без применения специальных формирующих устройств. Поэтому рациональность применения формирующих устройств является верной.

Далее принято решение об измерении твердости по шкале HRA в образце, полученном при расположении ползунов под углом  $60^\circ$  (рисунок 3, а) в последнем наплавленном слое.

Результаты измерения твердости представлены на рисунке 4. Максимальное значение твердости наблюдается в центре полученного образца.

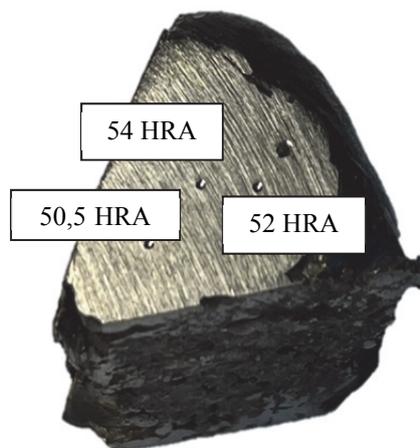


Рисунок 4 – Результаты измерения твердости в усилении наплавленных слоев

#### **Заключение**

В ходе исследования было испытано устройство принудительного формирования наплавленного слоя. По результатам исследования установлена рациональность применения графитовых ползунов с обеспечением равномерной поверхности без натеков металла.

В дальнейшем необходимо установить степень науглероживания металла при формировании наплавленных валков с применением графитовых формирующих устройств, а также изучить структуру и химический состав получаемых образцов.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Григорьев, В. В. Аддитивные технологии производства изделий из металлов послойным дуговым способом / В. В. Григорьев, Н. О. Плетнев // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : материалы II Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2019 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2019. – С. 67-70. – EDN RHOFLU.
2. Комарова, К. К. Аддитивная наплавка / К. К. Комарова, П. В. Бахматов // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 07–11 февраля 2022 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 375-378. – DOI 10.17084/978-5-7765-1502-6-2022-375. – EDN NPWUGK.
3. Формообразование стальных заготовок методом аддитивной наплавки сварочной проволокой / А. А. Куликов, Ю. В. Небышинец, А. В. Сидорова, А. Е. Балановский // Авиамашиностроение и транспорт Сибири : Сборник статей XIV Международной научно-технической конференции, Иркутск, 21–26 сентября 2020 года. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2020. – С. 78-98. – EDN QYQPRF.

4. Влияние режима 3D-печати на химический состав и структуру стали 30ХГСА / Ю. Г. Кабалдин, М. С. Аносов, Ю. С. Мордовина, М. А. Чернигин // *Frontier Materials & Technologies*. – 2024. – № 3. – С. 63-73. – DOI 10.18323/2782-4039-2024-3-69-6. – EDN UGSHHD.

5. Осколков А.А., Матвеев Е.В., Безукладников И.И., Трушников Д.Н., Кротова Е.Л. Передовые технологии аддитивного производства металлических изделий // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение*. 2018. Т. 20. № 3. С. 90-105. DOI: 10.15593/2224-9877/2018.3.11 EDN: YGHHLV.

УДК 621.791.9

Боровской Илья Вячеславович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Borovskoy Ilya Vyacheslavovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Плетнев Никита Олегович, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Pletnev Nikita Olegovich, senior lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

Григорьев Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Grigoriev Vladimir Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ПОДДЕРЖИВАЮЩЕГО СЛОЯ ДЛЯ ПЕРВОГО ПРОХОДА ПРИ АДДИТИВНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ INVESTIGATION OF THE COMPOSITION OF THE SUPPORTING LAYER FOR THE FIRST PASS DURING ADDITIVE ELECTRIC ARC WELDING**

Аннотация. Проведено исследование влияния поддерживающих слоев при аддитивной электродуговой наплавке WAAM методом. Рассмотрены различные материалы, в качестве поддерживающего слоя, влияние данных материалов на формирование наплавленного слоя. Цель исследования заключалась в изучении возможности использования поддерживающих слоев, для повышения экономичности данного метода производства, путем уменьшения затрат основного материала получаемых изделий.

Abstract. A study of the effect of supporting layers during additive arc welding by the WAAM method has been carried out. Various materials are considered, as a supporting layer, the influence of these materials on the formation of the deposited layer. The purpose of the study was to study the possibility of using supporting layers to increase the efficiency of this production method by reducing the cost of the main material of the products obtained.

Ключевые слова: аддитивная наплавка, формирование слоя, 3D-печать металлом, поддерживающий слой.

Key words: additive surfacing, layer formation, 3D metal printing, the supporting layer.

### **Введение**

При формировании первого слоя методом аддитивной наплавки при выращивании изделия сложных форм используется остающаяся пластина, изготовленная из того же материала, что и будущая деталь. Для уменьшения затрат предлагается использовать поддерживающий слой. Подобный технологический прием можно наблюдать при принудительном формировании корня шва в сварочном производстве, для этой цели используются: керамические подкладки; поддув газа; флюсовые подушки; медные ползуны; стекловолоконные ленты и др. [1, 2]. Наиболее перспективным может оказаться

применение гранулированных термоустойчивых составов в качестве поддерживающего слоя.

Поддерживающий слой, обеспечивает равномерное прогревание металла, снижает риск стекания расплавленного металла при наплавке наклонных стенок, а так же способствует правильному формированию наплавленного слоя, согласно требуемым размерам, при изготовлении деталей со сложными геометрическими параметрами [3, 4].

Данная исследовательская работа направлена на изучение возможности применения различных материалов, в качестве поддерживающего слоя. Подбор подходящего материала позволит изготавливать детали сложных форм без необходимости последующего удаления стального основания.

#### Основная часть

Для проведения исследования изготовлен лабораторный стенд, включающий в себя: координатный стол портального типа с числовым программным управлением, блок управления, компьютер с управляющей программой (Mach3), источник питания с подающим механизмом (PIONIER MIG 220/2).

В качестве сварочного материала была выбрана проволока ESAB Св-08Г2С, диаметром 0,8 мм. Химический состав проволоки ESAB Св-08Г2С представлен в таблице 1. В качестве защитной среды использовался углекислый газ.

Таблица 1 - Химический состав проволоки ESAB Св-08Г2С (%)

C	Mn	Si	P	S
0,05 - 0,11	1,80 - 1,90	0,70 - 0,95	до 0,030	до 0,025

Для проведения экспериментов использовался ряд устройств, которые состоят из токопроводящего имитатора наплавленного вертикального слоя детали на основании (см. рисунок 1а). В качестве имитатора использовался металлический прут, диаметром 8 мм. Для обеспечения минимального расхода поддерживающего слоя использовался ограничитель из отрезка трубы диаметром 89 мм, высотой 60 мм (см. рисунок 1б).

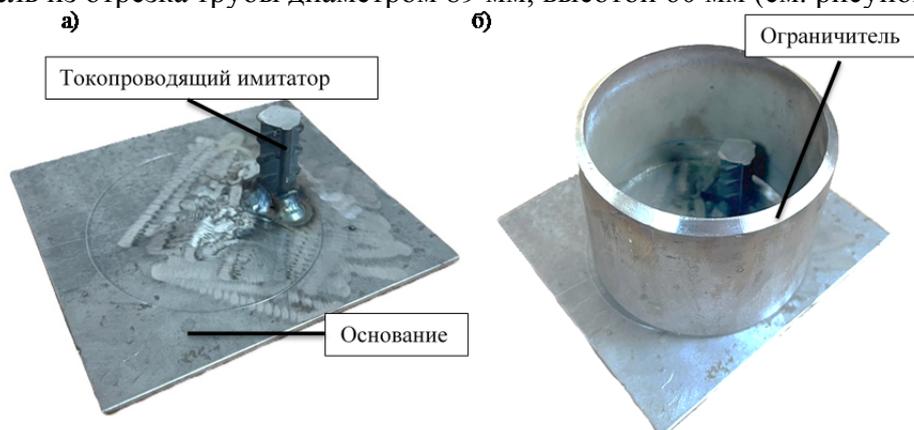


Рисунок 1 – Устройство ограничения поддерживающего слоя:  
а – имитатора наплавленного вертикального слоя; б – ограничитель

Материалы, использованные в качестве поддерживающего слоя, подбирались так, чтобы они удовлетворяли 2 основных требования: высокая температура плавления, поставляемую в виде порошка или гранул. Материалы, выбранные в качестве поддерживающего слоя, представлены на рисунке 2. Технические характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики использованных материалов

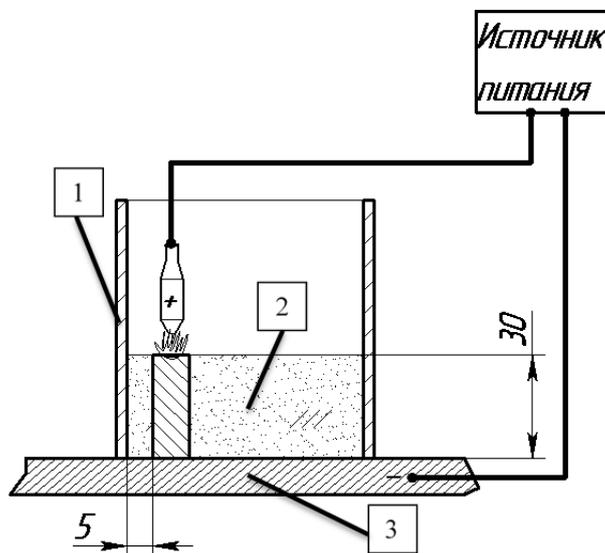
№	Название	Температура плавления, С°	Фракция, мм
1	Кварцевый песок	1050	0,8 – 2
2	Стеклошарики	1200-1400	0,2 – 0,3
3	Графитовая пыль	3845	0,1
4	Галька	1350	2 – 5
5	Шамотная крошка	1700	3 – 7
6	Флюс АН-22	700 – 800	1 – 2
7	Металлошлак	1650-1800	3 – 7



1 – Кварцевый песок; 2 – Стеклошарики; 3 – Графитовая пыль; 4 – Галька;  
5 – Шамотная крошка; 6 – Флюс АН-22; 7 –Metalлошлак

Рисунок 2 – Используемые материалы

Схема лабораторного стенда для проведения эксперимента представлена на рисунке 4.



1 – Ограничитель; 2 – Поддерживающий слой; 3 - Основание

Рисунок 3 – Принципиальная схема эксперимента

По предложенной методике был проведен ряд экспериментов, который показал, что поддерживающий слой способствует увеличению поверхностного натяжения расплавленного металла сварочной проволоки и позволяет сформировать первый слой детали в заданном направлении перпендикулярно имитатору. Подобный эксперимент без поддержки (на воздухе) не позволяет добиться желаемого результата. Полученные образцы представлены на рисунке 4.

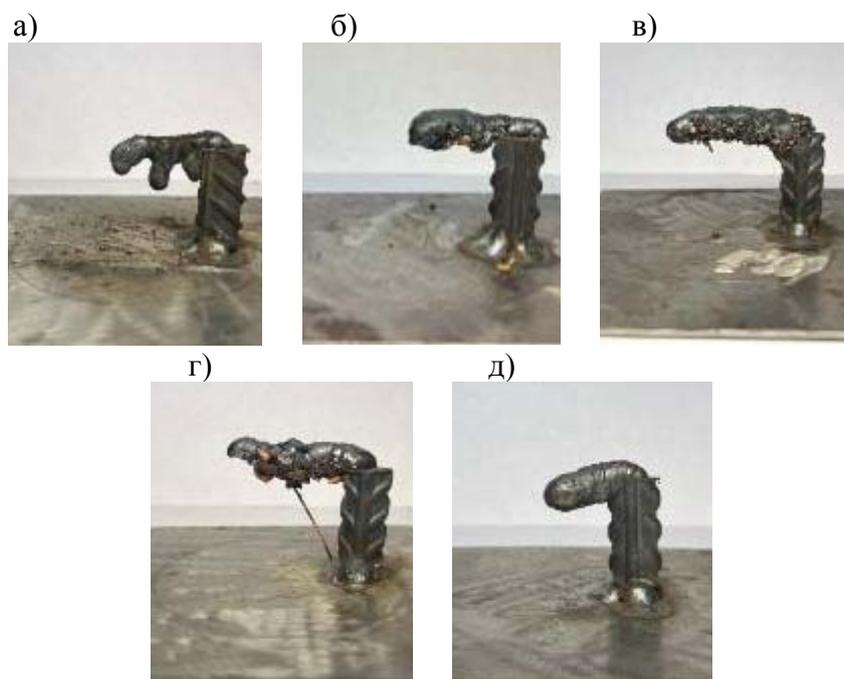


Рисунок 4 – Полученные образцы:

а – Образец №1, полученный на воздухе; б – Образец №2, поддерживающий слой из шамота; в – Образец №3, поддерживающий слой из кварцевого песка; г – Образец №4, поддерживающий слой из щебня; д – Образец №5, поддерживающий слой из измельченного графита

Образец №1 (см. рисунок 1а) показал неудовлетворительное формирование первого слоя, выполнение непрерывного автоматического наплавления при этом невозможно. Образцы №2,3 и 4 (см. рисунок 1б-г) подтвердили возможность применения данных составов для формирования слоя расплавленного металла в нужном направлении, при условии уменьшении скорости перемещения сварочной головки и подачи проволоки. Образец №5 (см. рисунок 1д) показал удовлетворительные результаты, минимальное включение в расплавленный металл, геометрические параметры наплавленного слоя имеют наиболее однородную форму. Образцы, выполненные при помощи стеклошариков показали не возможность формирования наплавленного слоя, для дальнейшего исследования не использовались.

#### **Заключение**

В результате проведенных исследований подтверждена возможность формирования первого слоя с помощью поддерживающих слоев. Возможно получение элементов печатаемого изделия без стальных поддержек. Требуется дальнейшее изучение гранулярного состава предлагаемых материалов поддержки и отработка режимов 3D печати с учетом взаимодействия поддержки с расплавленным металлом.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Комельков, В. Н. Управление процессами принудительного формирования корня шва при сварке / В. Н. Комельков, Н. О. Плетнев // Ученые заметки ТОГУ. – 2012. – Т. 3, № 1. – С. 103-106. – EDN REILWE.
2. Комельков, В. Н. Оценка возможностей изготовления подкладок из силикатных материалов / В. Н. Комельков, Б. Н. Марьин, Н. О. Плетнев // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2013. – Т. 1, № 3(15). – С. 67-71. – EDN RBKVXH.
3. Доронин, Ю. В. Металлургические и физико-химические особенности влияния флюса и формирующих подкладок на структуру корневого шва при односторонней дуговой

сварке / Ю. В. Доронин, А. Ю. Доронин // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 4(21). – С. 43-49. – EDN YFUCJJ.

4. Доронин, Ю. В. Гидродинамические явления в сварочной ванне и их влияние на формирование обратной стороны шва при односторонней сварке / Ю. В. Доронин // Сварка и диагностика. – 2010. – № 5. – С. 14-20. – EDN MXHIEZ.

5. Григорьев, В. В. Аддитивные технологии производства изделий из металлов послойным дуговым способом / В. В. Григорьев, Н. О. Плетнев // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : материалы II Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2019 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2019. – С. 67-70. – EDN RHOFLU.

УДК 621.791.92

Весненко Сергей Дмитриевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Vesenko Sergey Dmitrievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Старцев Егор Андреевич, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Startsev Egor Andreevich, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

**АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА,  
ПОЛУЧЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ  
С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ  
ANALYSIS OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE DEPOSITED METAL  
OBTAINED USING A POWDER WIRE WITH AN EXPERIMENTAL FILLER**

Аннотация. В работе представлен анализ химического состава наплавленного металла, сформированного с использованием порошковой проволоки, содержащей переработанный электросталеплавильный шлак. Основное внимание уделено содержанию ключевых легирующих элементов (C, Si, Mn, Cr, Ni) в различных образцах. Полученные данные позволяют определить вариации состава и их возможное влияние на эксплуатационные характеристики покрытия. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации химического состава порошковой проволоки и повышения качества наплавленных слоев.

Abstract. The paper presents an analysis of the chemical composition of the deposited metal formed using a powder wire containing recycled electric steelmaking slag. The main attention is paid to the content of key alloying elements (C, Si, Mn, Cr, Ni) in various samples. The data obtained make it possible to determine the variations in the composition and their possible effect on the performance characteristics of the coating. The results of the study can be used to optimize the chemical composition of the powder wire and improve the quality of the deposited layers.

Ключевые слова: наплавка, порошковая проволока, химический состав, легирующие элементы, углерод, марганец, наплавленный металл, износостойкость, упрочнение.

Key words: surfacing, powder wire, chemical composition, alloying elements, carbon, manganese, deposited metal, wear resistance, hardening.

**Введение**

Наплавка с использованием порошковой проволоки представляет собой перспективный метод создания металлических покрытий, позволяющий повысить их эксплуатационные свойства [1-2]. Такой подход предоставляет возможность не только

улучшить износостойкость и коррозионную устойчивость поверхностей, но и эффективно утилизировать промышленные отходы, такие как переработанный электросталеплавильный шлак. Ключевая роль в улучшении свойств наплавленного металла отводится химическому составу покрытия. Легирующие элементы, такие как углерод, марганец, кремний, хром и никель, влияют на формирование структуры покрытия и его эксплуатационные характеристики [3]. Изучение вариаций содержания этих элементов в разных образцах наплавленного металла позволяет получить данные, которые могут быть полезны для оптимизации состава порошковой проволоки.

Целью данной работы является анализ химического состава наплавленного металла, сформированного с использованием порошковой проволоки с экспериментальным наполнителем. Исследование охватывает содержание углерода, кремния, марганца, хрома и никеля в наплавленных слоях различных образцов и выявление закономерностей в распределении этих элементов.

### Основная часть

Для анализа химического состава наплавленного металла были использованы образцы, полученные с применением порошковой проволоки, содержащей переработанный электросталеплавильный шлак. Химический состав наплавленных слоев определялся по содержанию основных легирующих элементов: углерода (C), кремния (Si), марганца (Mn), хрома (Cr) и никеля (Ni). Анализ проводился для семи различных образцов, в каждом из которых содержание элементов измерялось в трех точках, после чего рассчитывалось среднее значение. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что содержание углерода, марганца и других легирующих элементов варьируется между образцами, влияя на прочностные и эксплуатационные свойства наплавленного металла. Наибольшие концентрации углерода и марганца наблюдаются в образцах 0, 2 и 5.

Таблица 1 – Среднее значение химического состава наплавленного металла (%)

№ образца	C	Si	Mn	Cr	Ni
Образец 0	0.084	0.192	1.219	0.033	0.037
Образец 1	0.116	0.077	0.418	0.111	0.064
Образец 2	0.204	0.073	0.541	0.112	0.069
Образец 3	0.149	0.122	0.732	0.091	0.035
Образец 4	0.071	0.055	0.532	0.065	0.036
Образец 5	0.274	0.176	1.021	0.086	0.035
Образец 6	0.146	0.094	0.643	0.084	0.039

На рисунке 1 представлено графическое отображение таблицы 1.

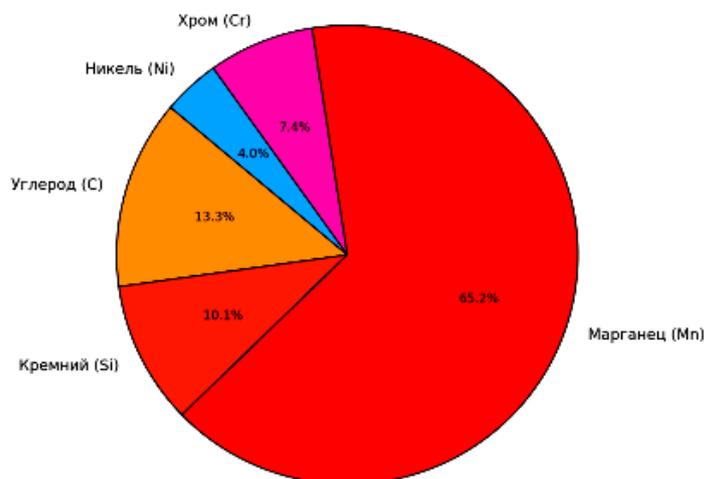


Рисунок 1 – Среднее значение химического состава наплавленного металла

На основе содержания ключевых легирующих элементов (углерод, кремний, марганец, хром и никель) в наплавленном металле, можно сделать ряд выводов относительно влияния химического состава на свойства покрытия.

Углерод (С) присутствует в концентрациях от 0,070 % до 0,274 % в различных образцах. Наибольшие значения углерода наблюдаются в Образце 5. Углерод, образуя карбидные фазы, повышает твердость и износостойкость покрытия. Таким образом, концентрация углерода непосредственно влияет на упрочнение наплавленного слоя, что важно при разработке покрытий для условий интенсивного износа.

Содержание кремния (Si) колеблется в диапазоне от 0,055 % до 0,192 %. Кремний известен как элемент, улучшающий структуру металла за счёт стабилизации карбидных фаз и повышения стойкости к окислению. Высокие концентрации кремния наблюдаются в Образце 0, что может способствовать улучшению коррозионной стойкости и прочности.

Марганец (Mn) присутствует в высоких концентрациях – от 0,418 % до 1,219 %, что играет важную роль в формировании прочностных характеристик покрытия. Самые высокие значения марганца зафиксированы в Образцах 0 и 5. Марганец способствует образованию аустенитной структуры, улучшая прочность и износостойкость, особенно в условиях механических нагрузок [4].

Хром (Cr) представлен в концентрациях до 0,112 %, что способствует повышению коррозионной стойкости и образованию твёрдых карбидных фаз, повышающих износостойкость. Наибольшие концентрации хрома зафиксированы в Образце 1. Хром также способствует стойкости покрытия в агрессивных средах, улучшая его эксплуатационные характеристики. Однако для достижения значительного упрочнения, согласно результатам анализа, его концентрации в данном случае недостаточно.

Содержание никеля (Ni) варьируется от 0,035 % до 0,069 %. Несмотря на относительно низкую концентрацию, никель способствует улучшению коррозионной стойкости покрытия и может укреплять структуру за счёт повышения пластичности. Наибольшие концентрации никеля отмечены в Образце 2, что, вероятно, добавляет покрытию дополнительную стойкость к коррозионным воздействиям.

### **Заключение**

Полученные результаты показывают, что состав порошковой проволоки оказывает значительное влияние на содержание легирующих элементов в наплавленном металле. Вариации в концентрации углерода и марганца указывают на возможность регулирования прочностных характеристик наплавленных слоёв. Высокое содержание кремния и хрома повышает коррозионную стойкость покрытия, а никель, несмотря на низкую концентрацию, улучшает его пластичность.

Данные результаты позволяют рекомендовать изменения в составе порошковой проволоки для получения покрытий с оптимальными эксплуатационными характеристиками и использовать результаты работы для дальнейшей разработки наплавочных материалов, сочетающих прочность, износостойкость и коррозионную стойкость.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Изучение структуры и свойств металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co при введении вольфрама и хрома / А. И. Гусев, Н. А. Козырев, Н. В. Кибко [и др.] // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2017. – № 2(20). – С. 4-8. – EDN YTOTZN.
2. Рогозин, Д. В. Исследование химического состава наплавленного металла порошковой проволокой Innershield NR-207, как фактора, влияющего на санитарно-гигиенические условия работы сварщика / Д. В. Рогозин, Ю. И. Булыгин, О. О. Забара //

Безопасность техногенных и природных систем. – 2017. – № 2. – С. 2-11. – DOI 10.23947/2541-9129-2017-2-2-11. – EDN YTVHYJ.

3. Смоленцев, А. С. Прочностные характеристики наплавленного металла и сварных соединений, выполненных TWIP-аустенитной порошковой проволокой / А. С. Смоленцев // Уральская школа молодых металловедов = Ural School for Young Metal Scientists : Материалы XXI Международной научно-технической Уральской школы-семинара металловедов - молодых ученых, Екатеринбург, 07–11 февраля 2022 года. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2022. – С. 400-405. – EDN DETCEY.

4. Влияние легирующих элементов и термической обработки на механические свойства хромистого чугуна / Е. И. Марукович, В. М. Ильюшенко, В. М. Пумпур [и др.] // Литье и металлургия. – 2020. – № 3. – С. 36-40. – DOI 10.21122/1683-6065-2020-3-36-40.

УДК 621.791.92

Весненко Сергей Дмитриевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Vesenko Sergey Dmitrievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Старцев Егор Андреевич, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Startsev Egor Andreevich, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА  
ПОЛУЧЕННОГО ПУТЕМ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE PHYSICAL  
PROPERTIES AND CHEMICAL COMPOSITION OF THE DEPOSITED METAL  
OBTAINED BY ELECTRIC ARC EXPOSURE USING EXPERIMENTAL MATERIALS**

Аннотация. В статье представлено исследование взаимосвязи физических свойств и химического состава наплавленного металла, полученного методом электродугового воздействия с использованием порошковой проволоки, содержащей переработанный электросталеплавильный шлак. Основное внимание уделено анализу влияния ключевых легирующих элементов (углерод, кремний, марганец, хром, никель) на микротвердость наплавленных слоев. Показано, что концентрация углерода и марганца способствует повышению микротвердости, а кремний и хром улучшают коррозионную стойкость и прочность. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации состава порошковой проволоки и разработки материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Abstract. The article presents a study of the relationship between the physical properties and chemical composition of the deposited metal obtained by electric arc exposure using a powder wire containing recycled electric steel slag. The main attention is paid to the analysis of the influence of key alloying elements (carbon, silicon, manganese, chromium, nickel) on the microhardness of the deposited layers. It is shown that the concentration of carbon and manganese contributes to an increase in microhardness, and silicon and chromium improve corrosion resistance and strength. The results of the study can be used to optimize the composition of the powder wire and to develop materials with improved performance characteristics.

Ключевые слова: наплавка, порошковая проволока, микротвердость, химический состав, углерод, кремний, марганец, хром, никель, электродуговое воздействие, износостойкость, упрочнение, легирующие элементы.

Key words: surfacing, powder wire, microhardness, electric steelmaking slag, wear resistance, coating.

### **Введение**

Наплавка с использованием порошковой проволоки является эффективным методом восстановления и упрочнения металлических поверхностей, широко применяемым в различных отраслях промышленности [1]. Этот процесс позволяет формировать покрытия с заданными свойствами, регулируя химический состав наплавленного металла. Особое внимание уделяется использованию переработанных материалов, таких как электросталеплавильный шлак, в качестве компонентов порошковой проволоки, что способствует ресурсосбережению и снижению себестоимости процесса [2]. Физические свойства наплавленного металла, в частности микротвердость, напрямую зависят от его химического состава. Легирующие элементы, такие как углерод, кремний, марганец, хром и никель, оказывают значительное влияние на формирование структуры и эксплуатационные характеристики покрытия. Например, содержание углерода и марганца влияет на твердость и износостойкость наплавленного слоя, тогда как кремний и хром повышают коррозионную стойкость и прочность [3].

Ранее проведенные исследования показали, что использование порошковой проволоки с добавлением переработанного шлака позволяет получать наплавленные покрытия с улучшенными свойствами [4]. Однако взаимосвязь между химическим составом таких покрытий и их физическими свойствами, в частности микротвердостью, изучена недостаточно.

Целью настоящей работы является исследование влияния химического состава на микротвердость наплавленного металла, полученного методом электродугового воздействия с применением порошковой проволоки, содержащей переработанный электросталеплавильный шлак. Полученные результаты позволят оптимизировать состав порошковой проволоки для получения покрытий с заданными эксплуатационными характеристиками.

### **Основная часть**

Ранее был проведен анализ микротвердости и химического состава наплавленного металла, полученного методом электродугового воздействия с использованием порошковой проволоки, содержащей переработанный электросталеплавильный шлак. Исследования показали, что микротвердость варьируется по слоям и между образцами. Наибольшие значения наблюдались в верхних слоях, что указывает на улучшение механических свойств покрытия. Анализ химического состава выявил, что содержание углерода, марганца, кремния, хрома и никеля существенно влияет на формирование структуры и эксплуатационные характеристики наплавленного металла.

В данной работе основное внимание уделено взаимосвязи между микротвердостью и химическим составом наплавленного металла, а также их взаимному влиянию на эксплуатационные свойства покрытия.

Сравнительный анализ данных о микротвердости и химическом составе наплавленного металла показал, что повышение концентрации углерода (C) и марганца (Mn) коррелирует с увеличением микротвердости наплавленных слоев. Углерод, формируя карбидные фазы, способствует повышению прочности и износостойкости покрытия. Наибольшая микротвердость регистрировалась в образцах с высоким содержанием углерода (до 0,27 %) и марганца (до 1,22 %).

Кремний (Si) и хром (Cr) оказывают косвенное влияние на микротвердость, усиливая коррозионную стойкость и стабилизируя карбидные структуры. Например, более высокое содержание кремния (до 0,19 %) в сочетании с углеродом и марганцем усиливает формирование твердой матрицы в верхних слоях. Хром (до 0,11 %)

дополнительно укрепляет структуру за счёт образования хромистых карбидов, что важно для повышения долговечности покрытия.

Никель (Ni) имеет меньшую концентрацию в наплавленных слоях (до 0,07 %), однако он вносит вклад в улучшение пластичности покрытия и его сопротивление ударным нагрузкам. В образцах с более высоким содержанием никеля отмечалась повышенная устойчивость к растрескиванию, что свидетельствует о его важности для создания более универсальных покрытий.

Корреляционный анализ показал, что микротвердость наплавленного металла имеет сильную положительную зависимость от концентрации углерода ( $R = 0,89$ ) и марганца ( $R = 0,85$ ), что указывает на их ключевую роль в упрочнении материала. Кремний ( $R = 0,76$ ) и хром ( $R = 0,70$ ) демонстрируют умеренное влияние, преимущественно укрепляя структуру покрытия и повышая коррозионную стойкость. Никель ( $R = 0,62$ ) оказывает слабое, но положительное влияние, улучшая пластичность и устойчивость покрытия. Эти данные подтверждают значимость оптимизации химического состава для достижения требуемых эксплуатационных характеристик.

На рисунке 1 представлен 3D-график взаимодействия между концентрацией элементов и микротвердостью.

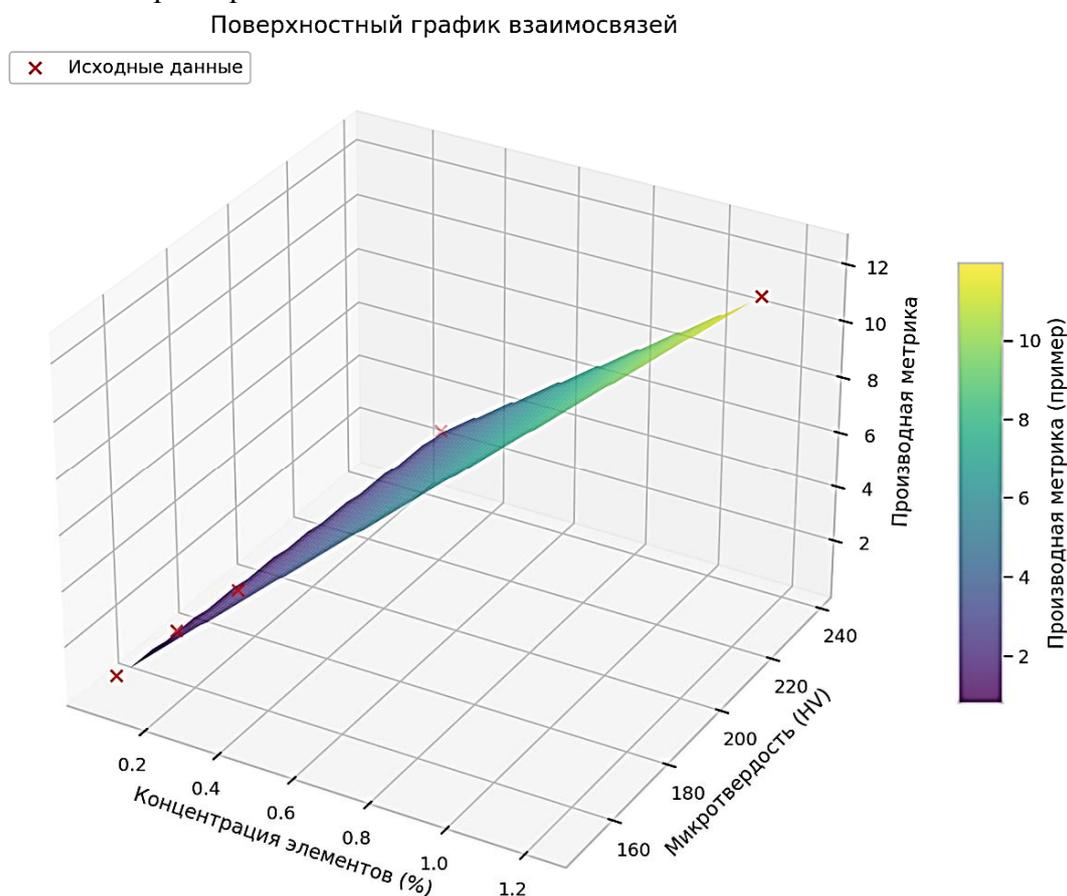


Рисунок 1 – Рисунок 1 – Поверхностный график взаимосвязей

3D-график отображает взаимодействие между концентрацией элементов, микротвердостью, и дополнительной производной метрикой, которая может представлять, например, комбинированное влияние нескольких элементов (в данном случае концентрация элемента умножена на фиксированный коэффициент для демонстрации).

Ось X (Концентрация элементов, %) показывает содержание определённого элемента в составе наплавленного металла. Ось Y (Микротвердость, HV) представляет измеренные значения микротвердости для каждого из анализируемых образцов. Ось Z

(Производная метрика) симулирует потенциальное влияние комбинированных факторов или взаимодействие нескольких элементов (например, сумма концентраций отдельных легирующих элементов).

На графике можно заметить, что с увеличением концентрации некоторых элементов (например, углерода и марганца) наблюдается рост микротвердости. Элементы с высокими значениями на оси *Z* могут указывать на их комбинированное положительное влияние на свойства материала.

### **Заключение**

Проведённое исследование позволило установить взаимосвязь между химическим составом и микротвердостью наплавленного металла, полученного методом электродугового воздействия с использованием порошковой проволоки, содержащей переработанный электросталеплавильный шлак. Установлено, что концентрация углерода и марганца оказывает наиболее значительное влияние на микротвердость. Их высокая концентрация способствует формированию карбидных фаз, что приводит к упрочнению материала и повышению его износостойкости. Кремний и хром в умеренных концентрациях укрепляют структуру покрытия за счёт стабилизации карбидов и повышения коррозионной стойкости. Однако их влияние на микротвердость менее выражено по сравнению с углеродом и марганцем. Корреляционный анализ показал сильную положительную зависимость микротвердости от концентрации углерода ( $R = 0,89$ ) и марганца ( $R = 0,85$ ). Использование 3D-анализа и поверхностных графиков подтвердило, что комбинированное влияние элементов усиливает эксплуатационные характеристики наплавленных слоёв.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Износостойкость металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe - C - Si - Mn - Ni - Mo - W - V и Fe - C - Si - Mn - Cr - Ni - Mo - V / И. В. Осетковский, Н. А. Козырев, А. И. Гусев [и др.] // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2017. – № 4(22). – С. 22-25. – EDN YLQJWO.
2. Старцев, Е. А. Разработка и исследование сварочной порошковой проволоки, полученной с использованием переработанных отходов металлургического предприятия / Е. А. Старцев, П. В. Бахматов, К. А. Михайлов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2022. – № 5(61). – С. 117-122. – DOI 10.17084/20764359-2022-61-117. – EDN MCZFBA.
3. Рогозин, Д. В. Исследование химического состава наплавленного металла порошковой проволокой InnerShield NR-207, как фактора, влияющего на санитарно-гигиенические условия работы сварщика / Д. В. Рогозин, Ю. И. Булыгин, О. О. Забара // Безопасность техногенных и природных систем. – 2017. – № 2. – С. 2-11. – DOI 10.23947/2541-9129-2017-2-2-11. – EDN YTVHYJ.
4. Смоленцев, А. С. Прочностные характеристики наплавленного металла и сварных соединений, выполненных TWIP-аустенитной порошковой проволокой / А. С. Смоленцев // Уральская школа молодых металловедов = Ural School for Young Metal Scientists : Материалы XXI Международной научно-технической Уральской школы-семинара металловедов - молодых ученых, Екатеринбург, 07–11 февраля 2022 года. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2022. – С. 400-405. – EDN DETCEY.

УДК 621.791.75

Войтович Роман Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Voitovich Roman Alekseevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Aleksei Valerievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОИСКА СТЫКА УСТАНОВКИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПОРТАЛЬНОГО ТИПА AUTOMATIC WELDING PORTAL TYPE MACHINE JOINT SEARCH SYSTEM MODERNIZATION**

Аннотация. Приводятся результаты разработки системы автоматического поиска стыка при выполнении операций сварки листовых заготовок с использованием в качестве щупа электрода сварочной горелки. Цель работы – разработать схему и алгоритм автоматического определения высоты поверхности листовых заготовок, а также координат точек начала и окончания сварки с использованием центровочных отверстий на отрезных частях заготовок.

Abstract. There are presented the automatically joint searching system development for automatic welding machine, which using a welding torch electrode as a probe. The purpose of the work is to develop a scheme and algorithm for automatically searching the sheet workpieces surface height, and the starting and ending welding points coordinates by using the centering holes on the workpieces cutting parts.

Ключевые слова: поиск стыка, зондирование, система управления, автоматическая сварка.

Key words: joint search, probing, control system, automatic welding.

### **Введение**

При автоматизации процессов сварки одним из «слабых» мест остаётся система поиска стыка свариваемых деталей. Задача поиска сварного стыка вызвана следующим. При подготовке свариваемых деталей возникают погрешности в размещении заготовок минимум в двух технологических операциях: при сборке деталей в оснастке, при установке оснастки с заготовками на стол сварочного автомата. В результате указанные погрешности могут привести к смещению сварочной горелки относительно стыка свариваемых деталей, что будет являться причиной брака. Кроме определения координат контрольных точек также необходимо правильно установить дуговой зазор между сварочной горелкой и поверхностью свариваемых деталей, для чего необходимо определить высоты поверхностей свариваемых деталей относительно системы координат станка.

В настоящее время поиск точек начала и конца сварного шва преимущественно определяется оператором визуально, для чего сварочный электрод поочередно устанавливается над указанными точками и происходит замер координат этих точек. Но данный способ имеет достаточно большую погрешность из-за особенностей зрения разных операторов, из-за эффекта параллакса при наблюдении.

Известны разные способы выполнения этой задачи [1, 2], начиная от механического поиска специальным пробником, заканчивая техническим зрением с применением лазерных дальномеров и стереосъёмки. Модернизируемая установка портального типа, главным образом, выполняет линейные сварные швы, поэтому применение дорогих систем поиска стыка с использованием технического зрения и элементов искус-

ственного интеллекта экономически не оправдано. Так как сварные швы представляют собой отрезки прямых линий с заданными геометрическими параметрами (длиной, углами относительно осей системы координат), то задача поиска стыка сводится к определению координат контрольных точек, для которых известно положение относительно координат начала и конца сварного стыка. Так как свариваемые заготовки листовые и расположенные в одной плоскости, то для поиска сварного стыка достаточно определить координаты минимум двух контрольных точек.

Цель настоящей работы – спроектировать систему автоматического поиска стыка для сварочного автомата портального типа, включая разработку электрической схемы и алгоритма работы.

### Основная часть

Так как система управления сварочной установкой содержит в себе источник питания сварочной дуги, датчики сварочного тока и напряжения, сварочный электрод и свариваемые заготовки являются элементами одной электрической цепи, то для минимизации стоимости и сложности разрабатываемой системы было принято решение производить поиск точек на поверхности свариваемых деталей с помощью сканирования сварочным электродом, а момент касания электродом заготовки определять по скачкообразному изменению электрического сопротивления цепи путём измерения тока с помощью штатного датчика тока. Для исключения образования сварочной дуги во время сканирования источник питания дуги настраивается на минимально возможный ток. Схема разработанной системы (рисунок 1) включает в себя: источник питания сварочной дуги (ИПД); датчик тока (ДТ); датчик напряжения (ДН); сварочный электрод; сканируемую деталь; управляющий контроллер (К); электропривод вертикального перемещения сварочной горелки (ЭП).

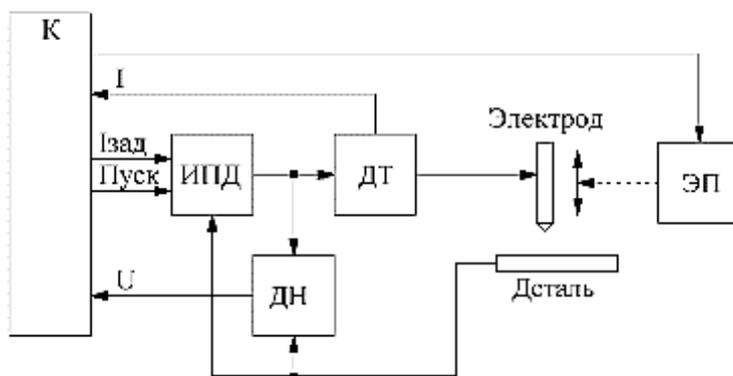


Рисунок 1 – Электрическая схема системы поиска стыка

Система работает следующим образом. Электрод отводится от детали на некоторое небольшое расстояние (чем меньше расстояние, тем быстрее произойдет зондирование). После чего на источник питания дуги поступает сигнал датчика тока  $I_{зад}$  (минимально возможный). Далее на источник питания поступает сигнал начала работы, при этом осциллятор поджига дуги должен быть отключен (режим поджига дуги касанием электрода поверхности). После этого схемы измерения напряжения и тока дуги непрерывно измеряют указанные параметры и передают измеренные значения управляющему контроллеру. После появления напряжения дуги на электропривод перемещения сварочной горелки поступает сигнал перемещения вниз и горелка перемещается по направлению к детали. В момент касания электродом детали происходит резкое понижение напряжения и рост тока. При обнаружении контроллером указанных изменений напряжения и тока перемещение электрода прекращается, на источник питания дуги подается сигнал остановки сварки. При этом реальная вертикальная координата сварочной горелки запоминается как высота поверхности детали. При сканировании ток источника питания сварочной дуги задается минимально возможным для исключения

возникновения сварочной дуги и «залипания» электрода. Скорость перемещения электрода задаётся минимально допустимой для исключения чрезмерного механического воздействия на электрод во время касания поверхности детали во избежание его механического разрушения.

Сканирование контрольных точек выполняется следующим образом. Сварочный электрод вручную перемещается внутрь контрольного отверстия цилиндрической формы, расположенного на отрезаемой части заготовки. После чего в автоматическом режиме происходит перемещение электрода вдоль одной координаты  $X$  до касания электродом детали. После этого происходит перемещение электрода в противоположном направлении до касания детали. По координатам точек касания определяется координата  $X0$  центра отверстия как среднее арифметическое от указанных значений. Далее происходит перемещение электрода вдоль координаты  $Y$  в одну и в другую стороны до касаний детали и определяется координата  $Y0$  центра отверстия как среднее арифметическое от измеренных значений (рисунок 2). Если заточка электрода имеет осесимметричную форму, то описанный способ сканирования обеспечивает определение центра отверстия с высокой точностью.

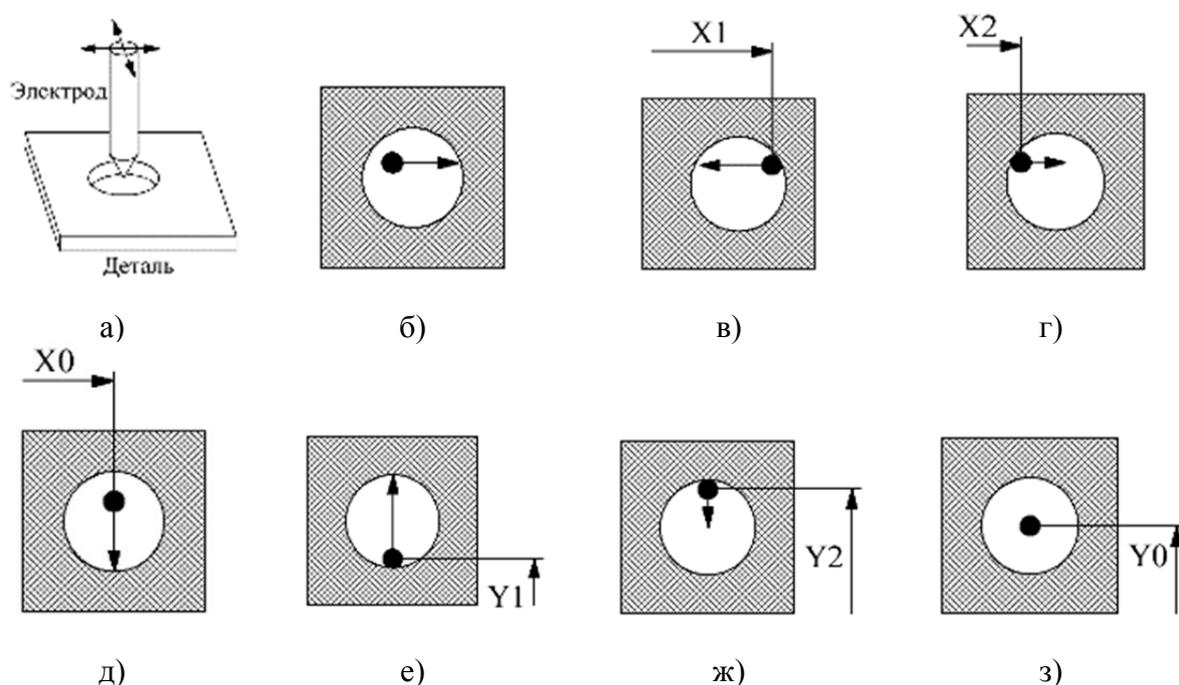


Рисунок 2 – Принцип (а) и очередность поиска (б – з) центра контрольного отверстия сварочным электродом

### Заключение

Таким образом, разработанная система и алгоритм поиска центров контрольных отверстий и высоты поверхности свариваемых листовых заготовок с применением сварочного электрода в качестве механического щупа и использования штатных источников питания сварочной дуги и измерительных приборов установки автоматической сварки позволяет автоматизировать процесс поиска контрольных точек сварного стыка и повысить точность определения их координат практически без доработок аппаратной части установки. Но применение описанной системы требует доработать технологический процесс подготовки свариваемых заготовок, дополнив его сверлением контрольных отверстий диаметром, превышающим диаметр сварочного электрода, в строго заданных положениях.

### Благодарности

Статья подготовлена в рамках гранта № ВН1/2023.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kah, P., Shrestha, M., Hiltunen, E. et al. Robotic arc welding sensors and programming in industrial applications. *Int J Mech Mater Eng.* – 2015. – V. 10:13. – P. 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40712-015-0042-y>.
2. Fan, D., Zhang, G., Shi, Y., Zhu, M. Progress and Trend in Intelligent Sensing and Control of Weld Pool in Arc Welding Process. In: Chen, S., Zhang, Y., Feng, Z. (eds) *Transactions on Intelligent Welding Manufacturing*. Transactions on Intelligent Welding Manufacturing. – 2018. – No. 3. – Springer Singapore, 2019. – С. 27-43. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-7418-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7418-0_2).

УДК 621.791.75

Войтович Роман Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Voitovich Roman Alekseevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Aleksei Valerievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ЦИФРОВОГО ДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СВАРОЧНОГО ВРАЩАТЕЛЯ APPLICATION OF DIGITAL FREQUENCY DIVISION ALGORITHM TO CONTROL A WELDING ROTATOR ELECTRIC DRIVE**

Аннотация. Приводятся результаты разработки и апробации алгоритма управления драйвером шагового двигателя сварочного вращателя для промышленного программируемого логического контроля (ПЛК) с использованием алгоритма сигма-дельта модуляции. Цель работы – проектирование и апробация программного модуля, обеспечивающего плавное вращение шагового электродвигателя с возможностью дискретного регулирования его частоты вращения в пределах 0 – 100% с шагом дискретизации менее 1%. Полученные результаты демонстрируют работоспособность разработанного алгоритма и программного модуля.

Abstract. There are presented the results of the development and testing of a control algorithm for a welding rotator stepper motor driver for industrial programmable logic control (PLC) using the sigma-delta modulation algorithm. The purpose of the work is to design and test a software module that ensures smooth stepper motor rotation with the ability to discretely regulate its rotation speed in the range 0 - 100% with a sampling step less than 1%. The results prove the correct operation of the developed algorithm and software module.

Ключевые слова: программируемый логический контроль, алгоритм, делитель частоты, сигма-дельта модулятор, шаговый электропривод.

Key words: programmable logic control, algorithm, frequency divider, sigma-delta modulator, stepper electric drive.

### **Введение**

Для повышения скорости выполнения операций сварки элементов трубопровода и повышения качества получаемых сварных швов в настоящее время применяются вращатели. Вращатели обеспечивают равномерное вращение свариваемых заготовок, а их сварка выполняется при наиболее оптимальном положении сварочного электрода (в нижнем положении заготовки). Кроме того, автоматическое вращение заготовки исключает необходимость прерывания процесса сварки и появление связанных с ним дефектов в результате многократного поджигания и гашения сварочной дуги. Но для по-

лучения сварного соединения с заданными характеристиками важно обеспечить работу вращателя с одинаковой скоростью, исключая рывки. При этом для сварки разных заготовок необходимо применять разные скорости их вращения. В последнее время для вращения применяются шаговые электродвигатели, а управление ими осуществляется от промышленных программируемых контроллеров (ПЛК) с относительно низкой частотой программного цикла – менее 1 кГц. Поэтому задача обеспечения равномерного вращения шпинделя сварочного вращателя с изменяемой скоростью сводится к разработке алгоритма деления частоты программного цикла ПЛК с дробным коэффициентом деления и минимальным джиттером выходной частоты. Настоящая статья посвящена решению указанной задачи.

### **Основная часть**

Деление частоты на целое число осуществляется с помощью счётчиков с соответствующим коэффициентом счёта [1, 2], при этом на выходе формируются импульсы с длительностью, равной длительности импульса входного сигнала и паузой, длительность которой определяется коэффициентом деления схемы. Такие делители обеспечивают равномерное чередование импульсов и пауз без скачков частоты. Но в практике, для обеспечения возможности регулирования скорости вращения электродвигателя с малым шагом изменения скорости, необходимо применение делителей с дробным коэффициентом деления. Понятно, что такие алгоритмы деления уже не смогут обеспечить стабильность частоты выходных сигналов. Поэтому можно допустить скачки частоты выходных сигналов, но с изменением их периода не более, чем один период входного сигнала. Кроме того, при разработке или выборе алгоритма необходимо также руководствоваться принципом минимальной сложности и ресурсоёмкости алгоритма, так как он выполняется постоянно в реальном времени и не должен значительно замедлять работу управляющего контроллера.

В работах [1, 3, 4] описаны принципы построения делителя частоты с дробным коэффициентом деления, заключающиеся в использовании двух схем (или алгоритмов) деления с коэффициентами деления  $N$  и  $N+1$ , которые работают попеременно. В результате можно получить дробный коэффициент деления между значениями  $N$  и  $N+1$ . Но этот принцип неизбежно приводит к скачку частоты во время переключения схем, и в указанных публикациях не описан алгоритм переключения делителей (не указаны условия для переключения коэффициентов деления).

Известен алгоритм работы сигма-дельта модулятора [5], который формирует последовательность логических уровней «0» и «1» таким образом, что в выходной последовательности содержится  $M$  единиц и  $P$  нулей, при этом нули и единицы достаточно равномерно распределены в пределах одного периода выходного сигнала. То есть данный алгоритм потенциально может быть использован для решения указанной задачи.

Алгоритм работы делителя частоты с сигма-дельта модулятором первого порядка (рисунок 1) включает в себя: вычитатель  $U1$ , интегратор  $U2$ , компаратор  $U3$ , коммутатор (мультиплексор)  $U4$ , логический элемент «И»  $U5$ . Интегратор и компаратор работают по переднему фронту сигнала «С». Выходной сигнал компаратора  $U3$  принимает значение «1», если его входной сигнал больше 0. Выходной сигнал мультиплексора  $U4$  принимает одно из двух значений: 0, если сигнал управления равен 0, и  $U_0$ , если сигнал управления равен 1. Алгоритм оперирует целочисленными переменными, но может работать и с переменными с плавающей запятой. Коэффициент деления схемы задаётся отношением двух чисел, подаваемых на вход делителя:  $K = \frac{U_0}{U_{in}}$ . На вход «С» поступают импульсы от задающего тактового генератора, на выходе « $U_{out}$ » формируются сигналы с заданной частотой.

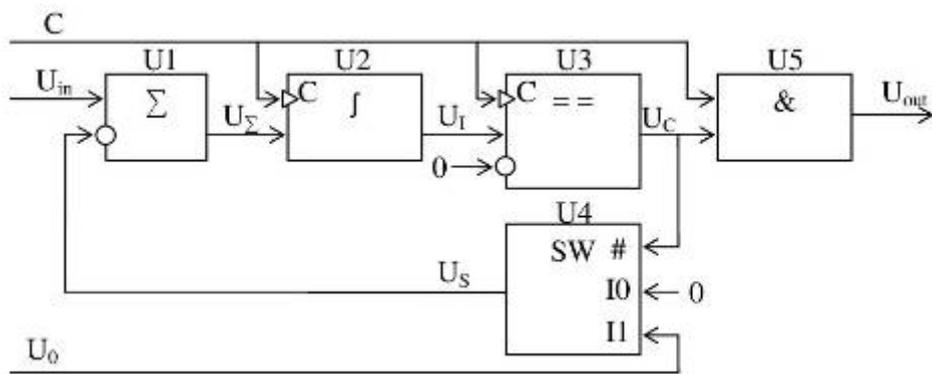


Рисунок 1 – Схема делителя частоты с сигма-дельта модулятором

Тестирование работы алгоритма (рисунок 2) показало, что выходные сигналы имеют период, равный  $U_0$ , что соответствует минимально возможному периоду для поставленной задачи. Выходные сигналы достаточно равномерно распределены внутри периода - максимальный скачок периода выходного сигнала не превышает одного периода сигнала «С». Количество импульсов за период в  $k$  раз меньше количества импульсов во входном сигнале задающего генератора.

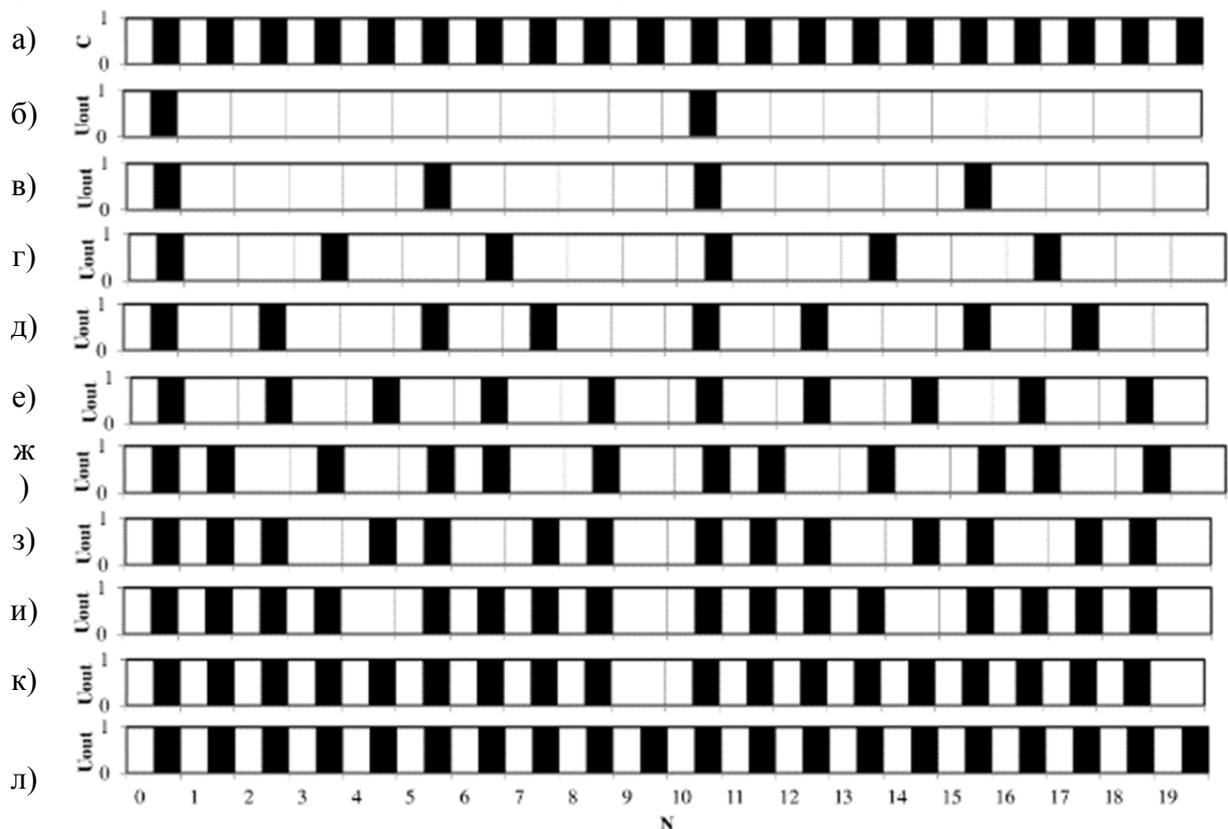


Рисунок 2 - Диаграммы входных (а) и выходных сигналов делителя частоты при различных коэффициентах деления: б – 10; в – 5; г – 10/3; д – 5/2; е – 2; ж – 5/3; з – 10/7; и – 5/4; к – 10/9; л – 1

### Заключение

Таким образом, алгоритм деления частоты цифровых сигналов с использованием сигма-дельта модулятора позволяет производить деление частоты на дробный изменяемый коэффициент деления  $K = \frac{U_0}{U_{in}}$  (где  $U_0$  и  $U_{in}$  – целые положительные числа), что обеспечивает практически любую сколь угодно малую дискретность изменения скорости вращения шагового электропривода сварочного вращателя. Для получения заданной дискретности изменения скорости 1% необходимо задать  $U_0 = 100$ , а  $U_{in}$  менять в диа-

пазоне 0 ... 100. Исследованный алгоритм обеспечивает минимальные скачки периода выходного сигнала (не более одного периода сигнала опорной частоты), что обуславливает достаточную степень равномерности вращения свариваемой заготовки. При единичном знаменателе коэффициента деления ( $U_{in} = 1$ ) скачки частоты выходного сигнала отсутствуют. Период получаемого выходного сигнала минимален и численно равен числителю коэффициента деления ( $U_0$ ), что обеспечивает неизменность средней скорости вращения патрона вращателя в течение  $U_0$  шагов шагового двигателя. Алгоритм использует только простейшие математические и логические операции с целочисленными переменными – сложение, вычитание, сравнение и т.д., содержит всего 4 математических и 1 логическую операции, что обеспечивает низкие требования к вычислительным мощностям управляющего устройства и высокую скорость расчётов.

#### **Благодарности**

Статья подготовлена в рамках гранта № ВН1/2023.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Дингес, С. Делители частоты / С. Дингес, В. Кочемасов. – Компоненты и технологии, № 2. 2019. – с. 6 – 16.
2. Авторское свидетельство № 822377 А1 СССР, МПК H03K 23/00. Делитель частоты следования импульсов с переменным коэффициентом деления : № 2812704 : заявл. 09.07.1979 : опубл. 15.04.1981 / Г. С. Власов, Л. Д. Гарин, Д. Г. Добровинская, О. Ф. Павленков ; заявитель Пензенский Филиал Всесоюзного Научно-Исследовательского Технологического Института Приборостроения. – EDN XKMLJR.
3. Тыщук, Ю. Н. Разработка цифрового делителя частоты с дробным коэффициентом деления в 130 нм SIGE BICMOS технологии / Ю. Н. Тыщук, А. С. Кожемякин, А. Г. Говенько // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. – 2019. – № 2. – С. 142. – EDN WJSMXR.
4. Шахтарин, Б. И. Анализ синтезатора частот с дробно-переменным коэффициентом деления делителя / Б. И. Шахтарин, Е. Г. Качармина, В. В. Вельтищев // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2018. – Т. 21, № 2. – С. 122-131. – DOI 10.26467/2079-0619-2018-21-2-122-131. – EDN YWTRDG.
5. Шахтарин, Б. И. 77-30569/307193 Анализ сигма-дельта модулятора / Б. И. Шахтарин, А. А. Быков, А. А. Ковальчук // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 1. – С. 28. – EDN OWGPKR.

УДК 620.18

Дмитриев Константин Юрьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Dmitriev Konstantin Yurievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Белова Инна Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Belova Inna Valerievna Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН ЗАМЯТИЯ РЕЗЬБЫ НА ВИНТЕ ГИДРОЦИЛИНДРА ПОДЪЕМА СВОДА**

#### **IDENTIFYING THE CAUSES OF THREAD JAMMED THREAD ON THE SCREW OF THE HYDRAULIC CYLINDER OF THE RAIL LIFT**

Аннотация. В статье изучается винт М10 гидроцилиндра подъема свода ДСП-125. У винта наблюдается изменение геометрии в виде деформации, образования шейки

(утяжки) по месту расположения резьбы (выделенная область), смятия и притертости металла. Деталь не имеет разрушения. Необходимо выявить причину появления данного дефекта. Изменение геометрии винта М10 гидроцилиндра подъема свода ДСП-125 может быть обусловлено несколькими факторами, связанными как с эксплуатацией детали, так и с условиями производства. Одной из главных причин деформации является неравномерное распределение нагрузки во время работы системы. При высоких механических нагрузках, особенно в условиях вибрации, происходит локальное смятие металла, что может привести к образованию утяжки или шейки в области резьбы.

Abstract. The article studies the M10 screw of the DSP-125 arch lifting hydraulic cylinder. The screw exhibits a change in geometry in the form of deformation, neck formation (tightening) at the location of the thread (highlighted area), crushing and grinding of the metal. The part has no damage. It is necessary to identify the cause of this defect. The change in the geometry of the M10 screw of the DSP-125 arch lifting hydraulic cylinder can be caused by several factors related to both the operation of the part and the production conditions. One of the main causes of deformation is the uneven distribution of the load during the operation of the system. Under high mechanical loads, especially under vibration conditions, local crushing of the metal occurs, which can lead to the formation of a tightening or neck in the thread area.

Ключевые слова: микроанализ, микроструктура, дефекты, повреждение.

Key words: microanalysis, microstructure, defects, damage.

### **Введение**

Деформация винта представляет собой важный аспект, который необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации крепежных соединений. Винты, как правило, подвергаются различным нагрузкам, включая тягу, сдвиг и изгиб. Эти нагрузки могут вызывать как упругую, так и пластическую деформацию материала. Упругая деформация обратима и исчезает при снятии нагрузки, тогда как пластическая деформация остается постоянной, что может привести к нарушению функции крепежа.

### **Анализ микроструктуры**

На фото рисунке 1 приведен общий вид представленного на исследование винта.



Рисунок 1- Общий вид винта

В ходе микроисследования было установлено, что неметаллические включения способны существенно влиять на механические свойства металла. Пластичные силикаты могут воздействовать на прочность и пластичность изделия, в то время как сульфиды, как правило, склонны к образованию трещин при деформации, что требует дополнительного контроля за процессом переработки металла. Оксиды, в свою очередь, представляют собой точечные включения, которые могут быть индикаторами качества сырья и технологии производства.

Структура металла равномерная по всему поперечному сечению (рисунок 2), соответствует горячекатаному состоянию. Структурные составляющие: 70% феррита и 30% перлита.

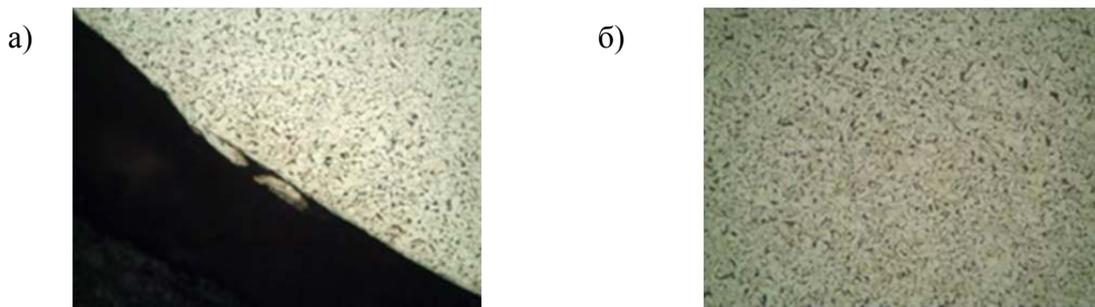


Рисунок 2 - Микроструктура металла:

а- микроструктура поверхности резьбы; б- микроструктура основного металла

Размер зерна перлита, находящийся в диапазоне от 9 до 7 баллов, указывает на хорошую равномерность структурных элементов, что способствует стабильности механических характеристик. Мелкопластинчатый перлит, с оценкой в 4 балла, предлагает наилучшие условия для глубокого закаливания, в то время как скрытопластинчатая форма с характеристикой в 2 балла может представлять сложности в производственных процессах (по ГОСТ 5639).



Рисунок 3 - Строение перлита

По месту расположения резьбы до глубины 0,05 мм выявлен деформационный наклеп металла и надрывы, как следствие нахождения болтов в эксплуатации и усилия при затяжке, соответственно (рисунок 4).



Рисунок 4 - Наклеп по месту резьбы

Наклеп – изменение свойств металла в результате холодной пластической деформации. Наклеп приводит к понижению пластичности металла и вязкости, т. е. происходит охрупчивание.

#### **Заключение**

Микроструктура металла винта М10 гидроцилиндра подъема свода ДСП-125 в горячекатаном состоянии демонстрирует характерные особенности, присущие данному виду обработки. Эта структура обеспечивает определенные механические свойства, однако в процессе эксплуатации возможны нежелательные изменения, связанные с деформациями или образованием микротрещин. Особенно это важно учитывать при выборе материалов для ответственных узлов, таких как винты, где нагрузочные характеристики играют ключевую роль.

Дефект резьбы на винте М10 является явным свидетельством недостатков в технологическом процессе его производства. Согласно чертежу № ЭМ-1310, термообработка после изготовления является обязательной процедурой, направленной на улучшение механических свойств и устранение внутренних напряжений. Пренебрежение данной стадией приводит к ухудшению прочностных характеристик и, как следствие, к снижению надежности всего гидросистемы.

В процессе термообработки металл подвергается закалке и отпуску, что позволяет достичь более однородной и стабильной микроструктуры. Это, в свою очередь, значительно увеличивает срок службы винта и предотвращает образование возможных дефектов в будущем. Применение правильных технологий термообработки является важным аспектом для обеспечения работоспособности и безопасности гидравлических систем.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Таирова, А. А. Металлографическое исследование поковки из стали 20Х13 / А. А. Таирова, И. В. Белова // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 171-174. – EDN XFMEKV.
2. Методы структурного анализа материалов / О. В. Башков, А. А. Бурдасова, И. В. Белова [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – 60 с. – EDN HUFCEX.
3. Отряскина, Т. А. Исследование деформационных процессов при трении / Т. А. Отряскина, М. В. Хортик // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2020. – № 3(43). – С. 104-109. – EDN GLCCWK.

УДК 620.18

Дмитриев Константин Юрьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Dmitriev Konstantin Yurievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Белова Инна Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Belova Inna Valerievna Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЯ ВАЛА РЕДУКТОРНОЙ КАССЕТЫ IDENTIFYING THE CAUSES OF DAMAGE TO THE REDUCER CASSETTE SHAFT**

Аннотация. В данной статье рассматривается вал редукторной кассеты после эксплуатации. В процессе эксплуатации вал редукторной кассеты подвергается значительным механическим и термическим нагрузкам. Микроструктурное исследование, проведенное на образцах вала после его разборки, показало наличие показателей усталостного разрушения, что указывает на длительное воздействие циклических напряжений. При проведении микроструктурного исследования были получены данные, по которым можно сделать заключение о причине повреждения вала.

Abstract. This article examines the shaft of a gear cassette after operation. During operation, the shaft of a gear cassette is subject to significant mechanical and thermal loads. Microstructural research conducted on shaft samples after disassembly showed the presence of fatigue failure indicators, which indicates long-term exposure to cyclic stresses. During the micro-

structural research, data were obtained that can be used to draw a conclusion about the cause of shaft damage.

Ключевые слова: микроанализ, микроструктура, вал, повреждение.

Key words: microanalysis, microstructure, shaft, damage.

### **Введение**

Повреждение зубчатой передачи может вызвать серьезные последствия для работы механизмов, в которых эти передачи используются. Когда происходит разрушение головок зубьев, увеличивается вероятность заклинивания, что в свою очередь ведет к перегреву и дальнейшему разрушению деталей. Сильные нагрузки и вибрации, возникающие при работе, только усугубляют ситуацию, провоцируя увеличение износа и появление трещин на оставшихся участках.

Причины подобного повреждения могут быть как материалом, так и условиями эксплуатации. Неправильно подобранные материалы или недостаточный уровень закалки зубьев могут привести к быстрому износу. К тому же, чрезмерные нагрузки, возникающие при эксцентрических движениях или неправильной регулировке механизмов, также способствуют ускоренному повреждению передач. Рекомендуется регулярно проводить контроль состояния зубчатых передач, чтобы своевременно выявить и устранить признаки износа.

### **Анализ микроструктуры**

Шлиф, содержащий поверхность поврежденного зуба, был изготовлен для анализа микроструктуры металла. Затем микрошлиф подвергли химическому травлению. При исследовании микроструктуры можно выявить неметаллические включения. Чаще всего включения присутствуют в виде вредных примесей. В данном образце были выявлены сульфиты и силикаты. Загрязнение не большие по размеру и по ГОСТу 1778 соответствуют размеру 1,5 балла. На рисунке 1 изображена микроструктура основного металла. Черные точки- это и есть загрязнения в виде сульфитов.

При проведении микроструктурного анализа выявлено:

- микроструктура металла зубчатого венца представленной детали соответствует термообработанному состоянию и состоит из троостосорбита (рисунок 1);

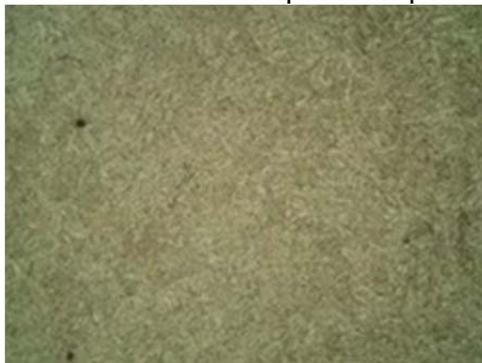


Рисунок 1 - Микроструктура основного металла

– на сохраненной поверхности зуба исследованного фрагмента наблюдается приваривание инородной металлической частицы, отличной от основной микроструктуры металла (рисунок 2);

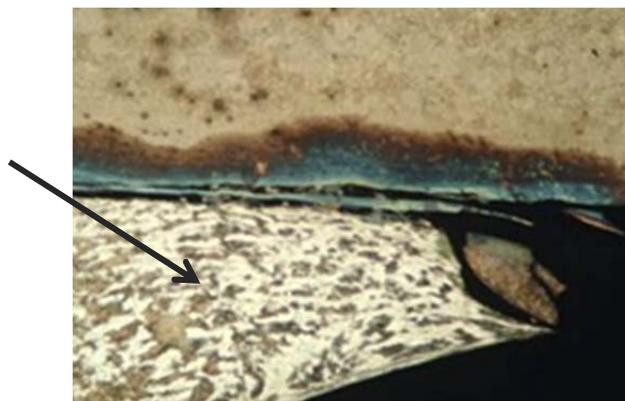


Рисунок 2- Поверхность зубчатого венца с приварившимся фрагментом (обозначен стрелкой)

- в поверхностном слое зубьев выявлены несплошности в виде трещин (рисунок 3), задиров (рисунок 4), а также текстура деформации (наклеп). Полости трещин незначительные по глубине залегания (до 0,06 мм), не имеют разветвлений вглубь, берега сомкнуты, металл вокруг дефектов не обезуглерожен.

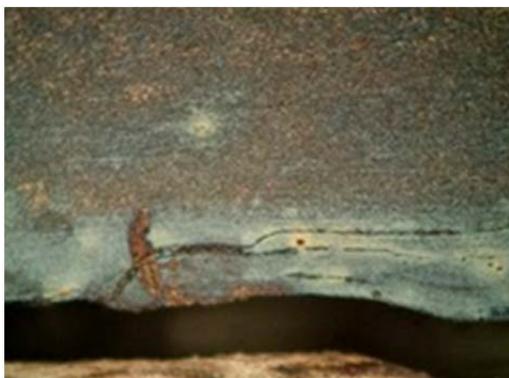


Рисунок 3 - Трещина на поверхности

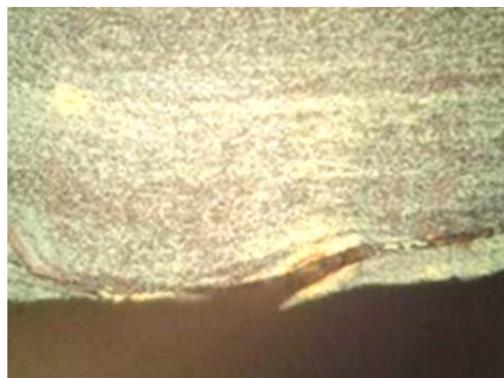


Рисунок 4 - Задир на поверхности

Выявленные дефекты имеют деформационное происхождение. Дефекты иного происхождения отсутствуют.

Совокупность фактов, выявленных при исследовании представленного вала, позволяет сделать вывод, что повреждения зубьев произошли в результате катастрофического заедания вследствие кратковременной пиковой перегрузки при попадании в зацепление постороннего предмета.

Это подтверждается и отсутствием признаков усталостного разрушения. Развитие заклинивания характеризуется нарушением геометрической формы контактной поверхности зубьев, увеличением нагрузки, увеличением динамических нагрузок в зацеплении.

Такой вид разрушения начинается с общей пластической деформации зубьев, которая приводит к окончательному излому, и проявляется, как правило, на всех зубьях одновременно, поскольку материал детали не в состоянии выдержать на столько сильную приложенную нагрузку.

#### **Заключение**

1. Микроструктура металла вала редукторной кассеты №6 проволочного блока соответствует термообработанному состоянию, состоит из троостосорбита. Выявленные дефекты поверхности в виде трещин, задиров и наклепа имеют деформационное происхождение.

2. Повреждение поверхностей зубчатого венца вала редукторной кассеты проволочного блока произошло вследствие катастрофического заедания в процессе зацепления зубьев при кратковременной пиковой перегрузке (аварийная ситуация).

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Таирова, А. А. Металлографическое исследование поковки из стали 20Х13 / А. А. Таирова, И. В. Белова // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 171-174. – EDN XFMEKV.
2. Методы структурного анализа материалов / О. В. Башков, А. А. Бурдасова, И. В. Белова [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – 60 с. – EDN HUFCHX.
3. Отряскина, Т. А. Исследование деформационных процессов при трении / Т. А. Отряскина, М. В. Хортик // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2020. – № 3(43). – С. 104-109. – EDN GLCCWK.

УДК 620.18

Дмитриев Константин Юрьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Dmitriev Konstantin Yurievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Белова Инна Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Belova Inna Valerievna Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС РЕДУКТОРНОЙ КАССЕТЫ ПРОВОЛОЧНОГО БЛОКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЯ**

#### **STUDY OF THE MICROSTRUCTURE OF GEAR WHEELS OF THE WIRE BLOCK GEARBOX TO DETERMINE THE CAUSES OF DAMAGE**

Аннотация. В ходе визуального исследования зубчатых колес были обнаружены трещины и задиры, которые указывают на повышенные уровни нагрузки и неравномерное распределение материалов. Микроструктурный анализ показал, что в области повреждений наблюдаются изменения в микроструктуре и дефекты кристаллической решетки. В результате проведенного анализа можно сделать вывод о том, что для улучшения эксплуатационных характеристик редукторной кассеты проволочного блока необходимо внедрение более строгих стандартов контроля качества на всех этапах производства. Это включает в себя как выбор высококачественных материалов, так и применение современных методов обработки и защиты поверхностей.

Abstract. Visual inspection of the gears revealed cracks and scoring, indicating elevated stress levels and uneven material distribution. Microstructural analysis showed that microstructural changes and lattice defects were present in the damaged areas. The analysis suggests that stricter quality control standards at all stages of production are necessary to improve the performance of the wire block gear cassette. This includes both the selection of high-quality materials and the use of modern surface treatment and protection methods.

Ключевые слова: микроанализ, микроструктура, зубчатое колесо, повреждение.

Key words: microanalysis, microstructure, gear, damage.

## Введение

Зубчатые колеса, являясь неотъемлемой частью механических систем, подвергаются обширным исследованиям для повышения их эффективности и долговечности. Исследования сосредотачиваются на различных аспектах, включая материаловедение, геометрию зубьев и методы обработки. Правильно сконструированные зубчатые передачи обеспечивают не только передачу вращения, но и минимизацию потерь энергии, что особенно актуально в современных индустриальных приложениях.

В последние годы существенно возросло внимание к использованию передовых технологий, таких как компьютерное моделирование и численные методы, для оптимизации дизайна зубчатых колес. Эти методы позволяют предсказывать поведение зубчатых передач в различных условиях эксплуатации, что способствует лучшему пониманию механических свойств и предотвращению отказов.

## Анализ микроструктуры

Общий вид деталей показан на рисунке 1. Деталям присвоена произвольная маркировка.

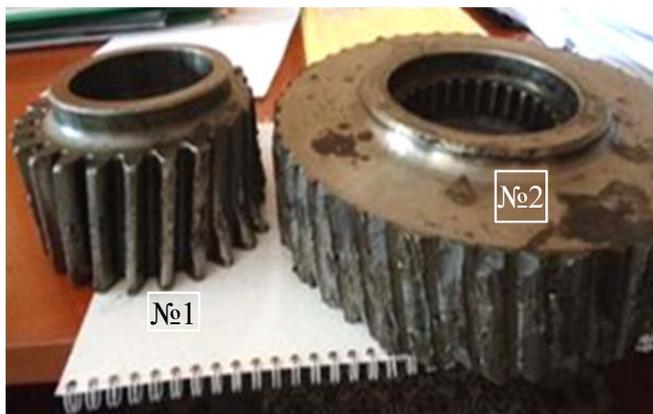


Рисунок 1- Зубчатые колеса, подвергнутые исследованию

Рабочие поверхности представленных деталей пластически деформированные - зубья изогнуты, шероховатые, с вырывами, повреждением боковых поверхностей. На зубьях имеются вмятины, возникающие в результате воздействия зубьев соединительной шестерни, а в результате чрезмерно высоких нагрузок и повышенного трения материал на поверхности зубьев частично отсутствует.

На поверхности резьбы имеются углубления, за которые могут зацепиться металлические посторонние детали (отдельные детали резьбы, элементы подшипников качения, крепежные детали и т. п.), отслоения углов, кромок и целиком вершин зубьев.

Поверхности изломов зубьев матовые, волокнистые, характеризуются значительной пластической деформацией, сопровождаемой доламыванием зубьев.

Шлиф, содержащий поверхность поврежденного зуба, был изготовлен для анализа микроструктуры металла. Затем микрошлиф подвергли химическому травлению. При исследовании микроструктуры выявляются неметаллические включения, которые обычно присутствуют в металле в виде вредных примесей. Были обнаружены сульфиты и силикаты. Загрязнение не превышает 1,5 балла по 5-балльной шкале.

При анализе было выявлено:

- металлическая микроструктура представленных деталей однородна по всему сечению (рисунки 2 и 3), соответствует состоянию термообработки и состоит троостосорбита и бейнита;



Рисунок 2 - Внутреннее строение микро-структуры зубчатого колеса №1



Рисунок 3 - Внутреннее строение микро-структуры зубчатого колеса №2

- в поверхностном слое зубчатого венца шестерни №1 выявлены несплошности в виде трещин (рисунок 4), задигов (рисунок 5). Полости трещин незначительные по протяженности (до 0,04 мм), не имеют разветвлений вглубь, берега сомкнуты, металл вокруг дефектов не обезуглерожен. Выявленные дефекты имеют деформационное происхождение. Дефекты иного происхождения отсутствуют;



Рисунок 4 - Микротрещина на зубе зубчатого колеса №1



Рисунок 5 - Задир на поверхности зубчатого колеса №1

- в поверхностном слое зубчатого венца шестерни №2 происходит деформация микроструктуры. В данном случае произошел наклеп (рисунок 6). Также присутствуют задиры металла (рисунок 7). Выявленные дефекты имеют деформационное происхождение. Другие дефекты отсутствуют.



Рисунок 6 - Деформация микроструктуры (наклеп зубчатого колеса №2)



Рисунок 7 - Задир на поверхности зубчатого колеса №2

Совокупность фактов, выявленных при исследовании представленных поврежденных деталей, позволяет сделать вывод, что повреждения и разрушения зубьев шестерен редукторной кассеты произошли в результате действия высоких нагрузок при катастрофическом заедании, что подтверждается отсутствием признаков усталостного разрушения. Развитие заклинивания характеризуется нарушением геометрической формы контактной поверхности зубьев, динамическими нагрузками при зацеплении, шумом и вибрацией.

Этот тип разрушения, как правило, начинается с общей пластической деформации зубьев и приводит к окончательному разрушению, поскольку материал шестерни не выдерживает приложенной нагрузки.

### **Заключение**

1. Микроструктура металла представленных двух шестерен редукторной кассеты проволочного блока соответствует термообработанному состоянию, равномерная по сечению. Выявленные дефекты поверхности в виде трещин, задигов и наклепа имеют деформационное происхождение.

2. Повреждение поверхностей зубчатых венцов исследованных шестерен произошло вследствие катастрофического заедания в процессе зацепления зубьев.

3. Для предотвращения подобных дефектов необходимо строго контролировать параметры эксплуатации, а также проводить регулярные технические осмотры и оценку состояния шестерен. Рекомендованное применение современных смазочных материалов и фильтров поможет сократить вероятность возникновения аварийных ситуаций и продлить срок службы механизма в целом.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Таирова, А. А. Металлографическое исследование поковки из стали 20X13 / А. А. Таирова, И. В. Белова // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 171-174. – EDN XFMEKV.

2. Методы структурного анализа материалов / О. В. Башков, А. А. Бурдасова, И. В. Белова [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – 60 с. – EDN HUFСХЕ.

3. Отряскина, Т. А. Исследование деформационных процессов при трении / Т. А. Отряскина, М. В. Хортик // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2020. – № 3(43). – С. 104-109. – EDN GLCCWK.

УДК 620.18

Дмитриев Константин Юрьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Dmitriev Konstantin Yurievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Белова Инна Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Belova Inna Valerievna Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

### **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА**

### **JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF MATERIAL AND CHEMICAL THERMAL TREATMENT OF THE GEAR WHEEL**

Аннотация. В статье представлен анализ термической обработки зубчатых колес диаметром 25 мм из стали 40X. Рассмотрен выбор материала, процессы закалки и высокого отпуска, их влияние на микроструктуру, твердость и механические свойства. Исследование направлено на обеспечение оптимального сочетания твердости, прочности и износостойкости при сохранении пластичности, что важно для условий эксплуатации. Показано, что оптимальные режимы термической обработки критически важны для работы зубчатых передач в тяжело нагруженных механизмах. Результаты могут быть использованы для повышения долговечности и эффективности производства зубчатых колес.

Abstract. The article presents an analysis of the heat treatment of gears with a diameter of 25 mm made of 40X steel. The choice of material, quenching and high tempering processes, their effect on microstructure, hardness and mechanical properties are considered. The study is aimed at ensuring an optimal combination of hardness, strength and wear resistance while maintaining plasticity, which is important for operating conditions. It is shown that optimal heat treatment modes are critically important for the operation of gears in heavily loaded mechanisms. The results can be used to improve the durability and efficiency of gear production.

Ключевые слова: микроструктура, механические свойства, термическая обработка.

Keywords: microstructure, mechanical properties, heat treatment.

### **Введение**

Для деталей машин, передающих усилия посредством зацепления по контактной поверхности (таких как зубчатые колеса), с диаметром 25 мм, работающих в циклическом режиме с частыми пусками и остановками, выбор материала и процесс термической обработки являются ключевыми для обеспечения долговечности, износостойкости и повышенной механической прочности при динамических нагрузках.

Зубчатые колеса изготавливаются из большого количества материалов. Необходимо выбрать один материал, который обеспечивал бы необходимый комплекс физико-механических свойств. Выбор материала осуществляется сравнительным анализом доступных вариантов. Сравниваются механические характеристики металлов. Выбирается оптимальный вариант, наиболее удовлетворяющий требованиям. После выбора металла, разрабатывается технология термической обработки, с целью изменения внутренней структуры материала и, следовательно, получения необходимых свойств. Для выполнения термической обработки подбирается оборудование, способное обеспечить точное регулирование температурного режима нагрева и охлаждения. В технологическом процессе потребуется оборудование для нагрева материала до высоких температур, а также система охлаждения, обеспечивающая равномерное снижение температуры. Кроме того, необходимо оборудование для проведения последующих этапов термообработки с заданным температурным режимом. По завершении обработки проводится проверка качества изделия. Контроль включает измерение механических свойств материала, таких как твердость, для подтверждения достижения необходимых эксплуатационных характеристик. Проверка проводится в соответствии с требованиями к качеству структуры и свойств материала после обработки.

### **Основная часть**

#### **• Выбор материала**

Для зубчатого колеса диаметром 25 мм рекомендуется рассмотреть следующие марки сталей: 35, 45, 40X, 35Г и 40ХН. Все указанные стали обладают схожими механическими и физическими характеристиками, однако выбор производится на основании их эксплуатационных свойств и технологических возможностей. Для данного изделия была выбрана сталь 40X, так как она обладает высокой прочностью, износостойкостью и хорошо поддается термической обработке. Сталь 40X – конструкционная легированная сталь с содержанием 0,4 % углерода. Изделия из данной стали способны работать в условиях значительных нагрузок. В таблице 1 представлен химический состав стали 40X в соответствии с ГОСТ 4543-71, а в таблице 2 указаны критические точки фазовых превращений. Сталь 40X часто применяется для изготовления зубчатых колес, валов, осей и других деталей, работающих при повышенных нагрузках. Использование данной стали дает возможность получения изделий с высокими механическими свойствами и устойчивостью к износу, что делает её оптимальным выбором для данного проекта.

Таблица 1 – Химический состав стали 40X, %, по ГОСТ 4543-71

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
0.36-0.44	0.17-0.37	0.50-0.80	≤0.035	≤0.035	0.80-1.10	≤0.30	≤0.30

Таблица 2 – Температура критических точек, (°C)

Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	Ar <sub>1</sub>	Ar <sub>3</sub>
735	795	695	760

- Разработка технологического процесса термической обработки зубчатого колеса из стали 40X

Процесс термообработки зубчатого колеса из стали 40X включает в себя несколько этапов: нагрев до 850 °C для закалки, закалка в масло при температуре 60-70 °C, а затем высокий отпуск при 550 °C. Это позволяет получить нужные механические свойства для обеспечения износостойкости и прочности зубчатого колеса. На этапе подготовки изделие подвергается механической обработке для получения требуемых размеров и формы. Это гарантирует, что сталь будет иметь равномерное распределение температуры при термообработке. Затем начинается процесс нагрева, цель которого – перевести сталь 40X в аустенитное состояние, что важно для дальнейшей закалки. Сталь 40X нагревается до температуры 850 °C (что находится выше температуры Ac<sub>3</sub> для этой марки стали), что соответствует оптимальному диапазону для закалки. На этом этапе сталь становится аустенитной, что дает возможность для формирования структуры, необходимой для получения твердости и прочности. После достижения требуемой температуры (850 °C), изделие подвергается закалке в масле. Температура масла составляет 60–70 °C, что позволяет добиться нужной скорости охлаждения и получить мартенситную структуру. Эта структура обеспечивает высокую твердость поверхности, достигающую HRC 55–60, что критично для зубчатого колеса, которое будет подвергаться значительным нагрузкам. Мартенсит, образующийся при быстром охлаждении, улучшает механические характеристики, включая износостойкость.

После закалки изделие подвергается высокому отпуску при температуре 550 °C. При отпуске снижаются внутренние напряжения, полученные в процессе закалки. Повышается пластичность и вязкость материала. В результате высокого отпуска структура материала изменяется, что снижает хрупкость и увеличивает устойчивость к трещинообразованию. Твердость после отпуска составляет HRC 35–45 в сердцевине, что гарантирует хорошую прочность при сохранении достаточной пластичности.

Для нагрева и закалки изделия используется камерная электропечь СНО-2.4.2/11-ИЗ-НИТТИН. Это оборудование предназначено для равномерного прогрева до температуры 850°C, необходимой для аустенитизации стали 40X. Печь оснащена системой контроля температуры, что обеспечивает точность и стабильность процесса нагрева. После нагрева, закалка проводится в ванне масляной закалочной 9.7.7/0,6. Эта ванна предназначена для охлаждения деталей в масле. Охлаждение в масле применяется для легированных сталей. Высокая скорость охлаждения позволяет получить мартенсит, который имеет наивысшую твердость. Масло в ванне выдерживается в диапазоне температур 60-70°C, что наиболее удобно для процесса закалки. После закалки детали подлежат очистке от остатков масла с помощью ванны промывочной 7.6.6/0,9. Это оборудование эффективно удаляет загрязнения, обеспечивая чистоту поверхности и готовность детали к следующим этапам обработки. Промывка необходима для предотвращения загрязнений в процессе последующих операций и для обеспечения точности размеров деталей. Высокий отпуск также производится в камерной электропечи СНО-2.4.2/11-ИЗ-НИТТИН. Выбор указанного оборудования позволяет обеспечить высокий уровень контроля за процессом термической обработки, а также достигнуть нужных механических свойств – твердости поверхности и прочности сердцевины – при минимальных затратах энергии и времени.

- Контроль термической обработки

Для контроля твердости после закалки зубчатого колеса из стали 40Х используется микроскоп МПБ-2. Это оборудование позволяет провести детальный анализ микроструктуры материала и определить глубину закаленного слоя. В случае единичного производства данного оборудования достаточно для точной оценки характеристик изделия. При массовом производстве применяют ультразвуковой твердомер ТКМ-459С, который позволяет быстро и эффективно измерять твердость в разных точках изделия и осуществлять выборочный контроль для каждой партии изделий. Такой подход обеспечивает высокую точность при больших объемах производства. Гидравлические прессы используются для проверки качества продукта на наличие скрытых дефектов, таких как внутренние трещины и вмятины. Этот тип контроля необходим для обеспечения высокого качества каждого продукта. Давление, оказываемое в процессе осмотра, помогает обнаружить дефекты, которые невозможно обнаружить визуально. Проверка проводится для каждого без исключения изделия, так как наличие микроструктурных дефектов может привести к снижению прочностных характеристик детали и нарушению работоспособности в процессе эксплуатации.

### **Заключение**

Таким образом, выбранные методы контроля позволяют обеспечить высокое качество термически обработанных зубчатых колес и соответствие изделиям всем требуемым стандартам. После завершения всех этапов термической обработки, зубчатое колесо из стали 40Х имеет следующие характеристики: твердость поверхности (HRC) 55–60; твердость сердцевины (HRC) 35–45; устойчивость к износу: высокая; прочность 1100–1300 МПа; пластичность ( $\delta$ ): 15–18%; ударная вязкость (КСУ) 85–95 Дж/см<sup>2</sup>.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Коновалов, А. А. Обоснование выбора материала и химико-термическая обработка толстостенной трубы / А. А. Коновалов, И. В. Белова // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 11–15 апреля 2022 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 116-120. – EDN JTQSKZ.
2. Белова, И. В. Кинетика распада мартенсита при отпуске / И. В. Белова // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2022. – Т. 18, № 10(214). – С. 435-440. – DOI 10.36652/1813-1336-2022-18-10-435-440. – EDN LCEWNB.
3. Белова, И. В. Термическая обработка изделий / И. В. Белова, Н. Е. Емец. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2016. – 92 с. – ISBN 978-5-7765-1230-8. – EDN ZIYMGF.

УДК 620.18

Дмитриев Константин Юрьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Dmitriev Konstantin Yurievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Белова Инна Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Belova Inna Valerievna Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

### **ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ КРАНОВОГО КОЛЕСА REASONS FOR THE DESTRUCTION OF THE CRANE WHEEL**

Аннотация. В статье представлены данные по исследованию кранового колеса. Проведенные исследования также включали химический анализ, который выявил высокое содержание серы и фосфора, что могло способствовать ухудшению пластичности и спо-

способности материала противостоять шокowym нагрузкам. Эти данные позволили определить комплекс причин, приведших к разрушению кранового колеса, включая как нарушение технологии производства, так и последствия эксплуатации.

Abstract. The article presents data on the study of a crane wheel. The studies also included chemical analysis, which revealed a high content of sulfur and phosphorus, which could contribute to the deterioration of the plasticity and ability of the material to withstand shock loads. These data made it possible to determine a set of reasons that led to the destruction of the crane wheel, including both a violation of production technology and the consequences of operation. Ключевые слова: микроанализ, микроструктура, колесо крана, разрушение.

Key words: microanalysis, microstructure, crane wheel, destruction.

### Введение

Разрушение кранового колеса – это сложный процесс, который может произойти по ряду причин, связанных как с эксплуатацией, так и с конструкцией самого механизма. Крановые колеса, будучи важной частью подъемных механизмов, испытывают значительные нагрузки во время работы, что может привести к их износу и, в конечном итоге, к разрушению. Одним из распространенных факторов, способствующих этому процессу, является неправильная балансировка крана. Если распределение нагрузки неравномерно, это создает дополнительные напряжения на колесах, способствуя их повреждению.

### Анализ микроструктуры

Излом состоит из четко выраженной объемно-овальной зоны усталостного разрушения (рисунок 1) и зон долома (рисунки 2а, 2б). Поверхность излома матовая в зоне развития усталостной трещины, кристаллическая в зонах долома. Данный излом характерен для литой стали.

Центр повреждения определялся по расположению характерного радиального рубца в том же направлении, что и расширение трещины (рисунок 1). Зона радиальной структуры формируется в месте зарождения ускоренного и нестабильного распространения трещины.

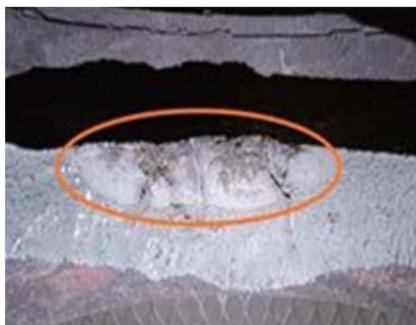


Рисунок 1 – Зона разрушения

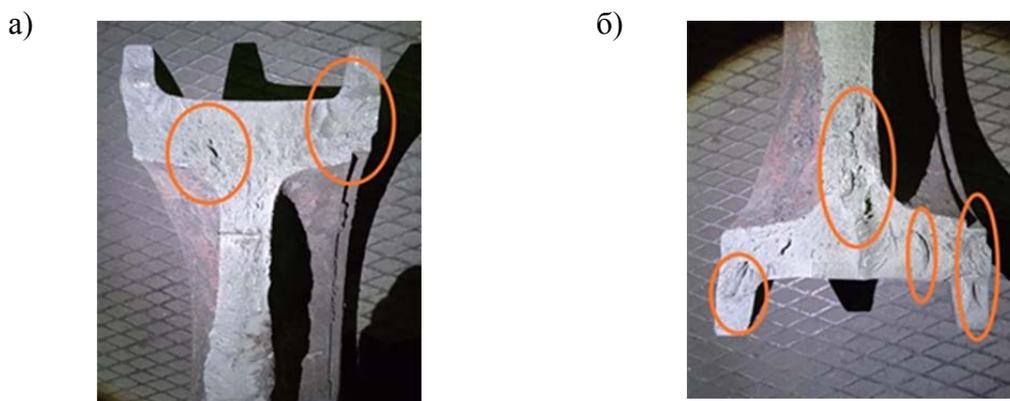


Рисунок 2 – Зона долома: а – с одной стороны, б - с другой стороны

Из исследуемого фрагмента по месту расположения очага разрушения (рисунок 1 выделенная зона) были изготовлены шлифы для проведения микроанализа.

В ходе микроструктурного анализа металла были выявлены включения сульфидов и окисульфидов, размер которых не превышает 1,5 балла по пятибалльной шкале ГОСТ 1778. Эти включения свидетельствуют о наличии определенных физических и химических процессов, происходящих в материале. Сульфиды формируются в результате взаимодействия серы с основными элементами, находящимися в сплаве, что может потенциально влиять на механические свойства металла.

При микроисследовании выявлен дефект литейного происхождения – газовая ликвация, представляющий собой микропоры и скопления неметаллических включений в виде пленок, выделяющихся по межосновым участкам (рисунок 3). Металл в зоне дефекта обезуглерожен, сопровождается микропористостью с грубыми включениями сложных железомарганцовистых кислородных соединений и сложными включениями силикатного типа (рисунок 4). Дефекты иного происхождения отсутствуют.



Рисунок 3 – Газовая ликвация



Рисунок 4 – Обезуглероженный слой

Основная микроструктура металла колеса соответствует нормализованному состоянию и состоит из перлита (80 %) и феррита (20 %) (рисунок 5). Фактический размер частиц оценивается в 6-8 баллов по ГОСТ 5639, состав перлита преимущественно пластинчатый (95 %), дисперсность оценивается от 1 до 4 балла и характеризует перлит от сорбитообразного до мелкопластинчатого.



Рисунок 5 – Микроструктура металла

Учитывая результаты проведенного исследования, можно утверждать, что выявленный литейный дефект явился очагом зарождения усталостной трещины.

Литейные дефекты приводят к снижению долговечности и предела выносливости деталей и приводят к их усталостному разрушению раньше назначенного срока службы.

### **Заключение**

1. Разрушение колеса кранового произошло вследствие образования усталостной трещины, очагом которой явился дефект литейного происхождения – газовая ликвация.

2. Микроструктура металла колеса кранового соответствует нормализованному состоянию и состоит из перлита и феррита.

Необходимо учитывать ресурс (если это регламентировано НД) и срок эксплуатации ходовых колес, а также их фактическое состояние при периодических осмотрах для предупреждения аварийной ситуации и выявления наружных дефектов (несплошностей поверхности).

Регулярное техническое обслуживание и проверка состояния крана играют ключевую роль в предотвращении разрушения колеса. При выявлении первых признаков износа или повреждений, необходимо незамедлительно проводить ремонтные работы, чтобы исключить возможность аварийных ситуаций на рабочем месте. В противном случае, недостатки в эксплуатации могут привести не только к финансовым потерям, но и угрожать безопасности работников.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Таирова, А. А. Металлографическое исследование поковки из стали 20X13 / А. А. Таирова, И. В. Белова // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 171-174. – EDN XFMEKV.
2. Методы структурного анализа материалов / О. В. Башков, А. А. Бурдасова, И. В. Белова [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – 60 с. – EDN HUFCE.
3. Отряскина, Т. А. Исследование деформационных процессов при трении / Т. А. Отряскина, М. В. Хортик // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2020. – № 3(43). – С. 104-109. – EDN GLCCWK.

УДК 532.528

Загнетов Валентин Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zagnetov Valentin Aleksandrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Бахматов Павел Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Bakhmatov Pavel Vyacheslavovich, PhD in Engineering, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **КАВИТАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ CAVITATION DAMAGE TO OIL REFINING EQUIPMENT**

Аннотация. Кавитация является ключевым компонентом коррозионно-эрозионного процесса, она малоизучена ввиду отсутствия эффективных методов диагностики и эффективных способов диагностирования на ранних стадиях развития процесса разрушения, поэтому она представляет значительные эксплуатационные риски в нефтеперерабатывающей отрасли. Благодаря раннему обнаружению и мониторингу коррозии и эрозионной кавитации на существующем оборудовании можно прогнозировать и определять безопасный срок эксплуатации, планировать мероприятия по техническому обслуживанию, сводить к минимуму непредвиденные ремонтные работы. Такой подход может помочь предотвратить финансовые потери, вызванные незапланированным выходом оборудования из строя, его повреждением и травмами обслуживающего персонала. В данной статье приведены результаты исследования кавитационного разрушения технологического трубопровода.

Abstract. Cavitation is a key component of the corrosion and erosion process, it is poorly understood due to the lack of effective diagnostic methods and effective diagnostic methods at

the early stages of the development of the destruction process, therefore it poses significant operational risks in the oil refining industry. Due to the early detection and monitoring of corrosion and corrosive cavitation on existing equipment, it is possible to predict and determine the safe service life, plan maintenance activities, and minimize unforeseen repairs. This approach can help prevent financial losses caused by unplanned equipment failure, damage and injuries to maintenance personnel. This article presents the results of a study of cavitation destruction of a process pipeline.

Ключевые слова: Коррозия, кавитация, нефтеперерабатывающее оборудование, повышение надежности и безопасности оборудования, неразрушающий контроль и прогнозирование.

Key words: Corrosion, cavitation, oil refining equipment, improving equipment reliability and safety, non-harmful testing and forecasting.

### **Введение**

Переработка нефти (работа нефтеперерабатывающего завода) - это сложное комплексное производство, включающее в себя большое количество устройств (сосуды, аппарата, насосы, компрессоры и иные) и трубопроводных систем, посредством которых непрерывно, под давлением и в условия высокой температуры, транспортируется продукт. Нефтеперерабатывающие заводы работают в различных условиях погоды и технологии, что влияет на состояние трубопровода. На производстве происходит до 40 процентов несчастных случаев, связанных с повреждением трубопроводных систем коррозией [1, 2]. До настоящего времени нет единого мнения о механизмах локального разрушения трубопроводных систем в процессе переработки нефтепродуктов, а, следовательно, и единого мнения по устранению причин данного явления. Поэтому исследование эволюции структурных изменений локального разрушения и создание конструктива трубных заготовок, обеспечивающих их надежность актуальная задача современной нефтеперерабатывающей промышленности [3, 4].

### **Основная часть**

Для оценки влияния коррозионных процессов предоставлены образцы разрушенного трубопровода теплообменного аппарата на установке первичной переработки нефти (рисунок 1).



Рисунок 1 – Внешний вид исследуемых образцов

Ультразвуковая толщинометрия проводилась EPOCH LTC (OLYMPUS) прямым пьезоэлектрическим преобразователем. Микроструктурные исследования проводили на микроскопе Nikon MA200, а пробоподготовка на шлифовально-полировальном станке Buehler AutoMet 250 с последующим травлением в 5 % спиртовом растворе азотной кислоты. Фрактография образцов проводилась на растровом электронном микроскопе Hitachi S-3400N.

Атмосферное влияние на внешнюю поверхность трубопроводов не приводит к существенному изменению макрорельефа поверхности. Коррозионное разрушение характеризуется локальностью. Локально неравномерное разрушение наблюдается и в самих пораженных коррозией участках. Коррозионное разрушение в виде цепочек сфе-

рических лунок распространяется в направлении движения рабочей жидкости. Глубина и размеры сферических лунок различны и могут быть как поверхностными, так и сквозными.

На внутренней поверхности змеевика четко видны черные отложения, характерные для сульфидного металла. Толщина пленки незначительна, она хорошо сцеплена с основным металлом и не имеет рыхлости. Локальные участки коррозионного повреждения характеризуются неравномерным распределением вдоль оси патрубков вытянутых лунок диаметром 5...7 мм и глубиной от 0,1 до 2,0 мм, образующие как бы вытянутые бороздки. Зона повышенного коррозионного износа характеризуется неравномерностью по окружности, приводя к разнотолщинности патрубка вплоть до нулевой.

Результаты ультразвуковой толщинометрии методом сплошного сканирования отвода показали: в местах турбулизации потока на радиусе изгиба интенсивный местный коррозионный износ. Если для сечения вне зоны турбулизации потока расчетная скорость коррозии за 7-летний период эксплуатации составила около 0,3 мм/г, то в зоне турбулизации – 1,7 мм/г. Характер распределения глубины поражений свидетельствует о зональной локализации поражений.

Монтажные сварные кольцевые швы по концам отвода, выполненные, согласно технической документации, аустенитными электродами марки ЭА-395/9, в том числе то соединение, которое попало в зону воздействия турбулентных потоков, не имеют следов коррозии, что указывает на их высокую коррозионную стойкость.

Электронная микроскопия поверхности коррозионного разрушения, показывает (рисунок 2), что характер разрушения металла под продуктами коррозии (рисунок 2, а), так и самих продуктов коррозии (рисунок 2, б) различаются размерами трещин и микротрещин на несколько порядков. Отделение продуктов коррозии происходит целыми конгломератами (рисунок 3, 2, 3б). На поверхности металла в первоначальный момент формируются вздутия величиной в 15...25 мкм с последующим образованием микротрещин (рисунок 3, а).

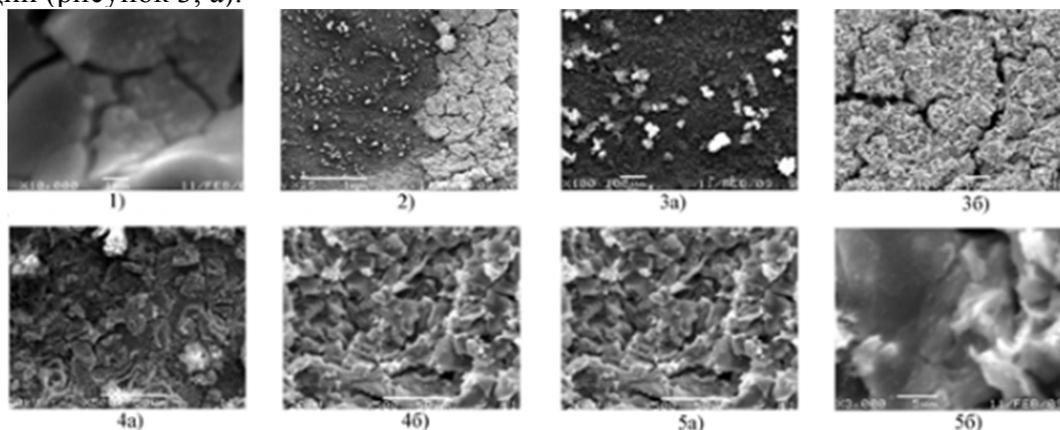


Рисунок 2 – Фрактограмма поверхности разрушения патрубка ТСПН: а-с удаленной основной массой продуктов; б – с продуктами коррозии

Как вид из рисунок 3 разрушение происходит вдоль и поперек ферритно-перлитных полос, совпадающих с направлением прокатки трубы. Разрушение носит межкристаллитный и транскристаллитный характер. Прослеживается образование локальных коррозионных разрушений и субмикротрещин по границам перлитных зерен (рисунок 3, а); отслаивающихся коррозионных разрушений вдоль полосчатой структуры по границам ферритных скоплений (рисунок 3, б); субмикropузырей, вздутий, предшествующих разрушению (рисунок 3, в). Наблюдаются характерные участки продуктов локальной коррозии с формированием коксовых отложений (рисунок 3, г, д).

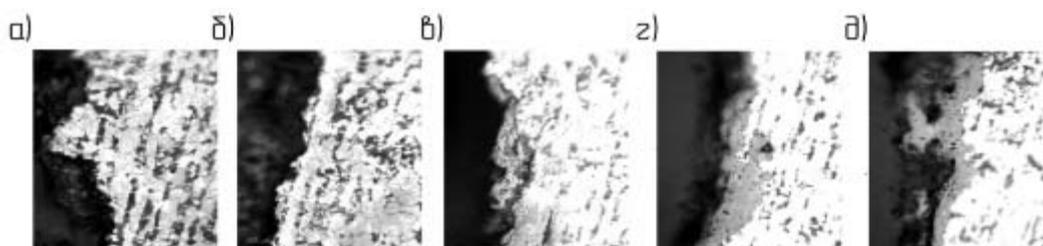


Рисунок 3 – Микроструктура ( $\times 400$ ) в зоне локально-катастрофического разрушения ТСПН: а – субмикротрещины по границам перлитных зерен; б – отслаивающиеся разрушения; в – субмикробузыри; г, д – коксовые отложения

Интерес вызывают образцы, разрушение поверхности которых происходит либо сразу после встречи потока продукта с усилением корневого валика кольцевого шва, либо по линии продольного шва (рисунок 4).



Рисунок 4 – Вид участков кавитационного разрушения внутренней поверхности трубопровода

Внешний вид участков разрушения доказывает о природе кавитационного разрушения, при этом характерна сохранность стенки трубы до усиления корневого валика кольцевого шва и разрушение корневого валика продольного шва и его зоны термического влияния.

### Заключение

Таким образом, в исследовании было показано, что кавитационные процессы усиливают эрозию внутренней стенки технологического трубопровода, сокращают межремонтный период. Причиной возникновения кавитации может послужить усиление корневого валика. Нахождение минимальной допустимой величины усиления, гарантирующей отсутствие кавитации является актуальной задачей, требующей проведения, как натуральных экспериментов, так и нахождения математических расчетов, способствующих прогнозированию возникновения кавитации в конкретных условиях работы трубопровода и сформированного сварщиком обратного валика.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чернов, А. А. Кавитация высоковязкого газонасыщенного расплава / А. А. Чернов, А. А. Пильник // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. – 2012. – № 2(10). – С. 239-245. – EDN WFRRMV.
2. Яковлева, И. В. Продление срока эксплуатации гидротурбин, подверженных кавитации / И. В. Яковлева, Д. А. МаксUTOва, А. Р. Халиуллина // Актуальные проблемы науки в студенческих исследованиях : Сборник материалов VIII Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Альметьевск, 21–22 ноября 2018 года. – Альметьевск: Издательство "Перо", 2018. – С. 135-139. – EDN BFMYUZ.
3. Муравьев В. И., Бахматов П. В., Фролов А. В. и др. Влияние структурных изменений металла труб на повреждения трубопроводных систем переработки нефтепродуктов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2011. – № 9. – С. 42 - 46.
4. Загнетов, В. А. Прогнозирование и применение эффективных методов контроля с кавитационным повреждением технологического оборудования / В. А. Загнетов, П. В. Бахматов // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всерос-

сийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 27-30. – EDN PRPYBP.

УДК 621.791.75

Захарченко Дмитрий Алексеевич, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zakharchenko Dmitry Alekseevich, undergraduate, Komsomolsk-na-Amure State University

Москаева Александра Витальевна, аспирант, ФГБУН Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДВО РАН

Moskaeva Alexandra Vitalievna, PhD student, Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОСЦИЛЛЯЦИИ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА PROSPECTS FOR OSCILLATION OF PARAMETERS OF THE ARC WELDING MODE UNDER THE FLUX LAYER**

Аннотация. Рассмотрены основные недостатки автоматической дуговой сварки под слоем флюса и перспективы ее дальнейшего технологического развития. Показано, что осцилляция существенно расширяет возможности указанного способа: позволяет увеличить производительность, управлять термическим циклом сварки, повышать глубину проплавления. Цель работы заключается в определении цели, задач, научной новизны и практической значимости проведения научных исследований в области расширения технологических возможностей дуговой сварки под слоем флюса.

Abstract. The main disadvantages of automatic arc welding under a layer of flux and the prospects for its further technological development are considered. It is shown that oscillation significantly expands the capabilities of this method: it allows to increase productivity, control the thermal cycle of welding, and increase the penetration depth. The purpose of the work is to determine the purpose, objectives, scientific novelty and practical significance of conducting scientific research in the field of expanding the technological capabilities of submerged arc welding.

Ключевые слова: автоматическая сварка под слоем флюса, осцилляция параметров режима, перспективы развития

Key words: automatic welding under a layer of flux, oscillation of mode parameters, development prospects

### **Введение**

История развития рассматриваемого способа сварки начинается с опыта Н.Г. Славянова по применению битого стекла для защиты расплавленного металла от негативного воздействия воздуха. Промышленный способ автоматической сварки под флюсом был разработан в СССР в Институте сварки академиком Е.О. Патеном в 1939-1940 гг. Коллективом института была создана технология сварки под флюсом, разработаны составы флюсов, созданы сварочные автоматы. Благодаря этим разработкам в СССР появились самый надежный сварной танк, мост, корабль и возможность победы в Великой Отечественной Войне [1].

В настоящее время дуговая сварка под слоем флюса широко применяется в судостроении для изготовления корпусов судов, в нефтеперерабатывающих и нефтедобывающих производствах для изготовления полотниц резервуаров, мостостроении, тяжелом машиностроении для строительства крупногабаритных объектов [2-3].

## Основная часть

Способ сварки производителен, но ведение его под слоем непрозрачного флюса делает невозможным наблюдение за дугowymi и металлургическими процессами, следовательно, и оперативно им управлять. Например, для формирования обратного валика при односторонней однопроходной сварке тонколистовых деталей требуется применение формирующих подкладок (металлических, керамических, флюсовых подушек и медных ползунов и т.п.). Сварка под флюсом – процесс полностью автоматизирован и реализуется на автоматах тракторного типа, имеющих только линейное перемещение в направлении сварки (ось X) с заданной скоростью. Остальные направления (оси Y и Z) могут корректироваться вручную. Кроме того, автоматы снабжены системой автоматического регулирования напряжения дуги (АРНД), способствующей удержанию постоянного дугового зазора управлением скоростью подачи сварочной проволоки [2]. Такое решение не всегда эффективно, например, при сварке двухсторонних швов, тонкостенных соединений без разделки кромок, необходимо чтобы второй валик по глубине перекрывал первый (противоположный, глубина которого составляет как минимум 50 % от толщины свариваемых деталей), для этого увеличивают мощность дуги. Баланс энергии смещается в сторону плавления проволоки и система АРДН увеличивает скорость ее подачи, что приводит к увеличению коэффициента наплавки и сокращает глубину проплавления. В результате возможен дефект, непровар, требующий обязательного исправления [3]. Источники питания сварки под слоем флюса – выпрямители и трансформаторы не снабжаются системами импульсного воздействия дуги.

Таким образом, процедура сварки лишена возможности осцилляции как энергетическими параметрами сварки, так траекторией движения дуги, что существенно ограничивает управление термическим циклом сварки (ТЦС).

Управление термическим циклом сварки осцилляцией параметров режима позволяет регулировать структуру и свойства металла в зоне сварки, что влияет на прочность, пластичность и другие характеристики сварного соединения. Такой контроль позволяет минимизировать термические деформации, предотвратить образование трещин и обеспечить однородность структуры сварного шва [4].

Подводя итог вышесказанному: целью проведения исследований по повышению технологических возможностей дуговой сварки под слоем флюса является установление закономерностей формирования структуры и свойств сварных соединений, выполненных автоматической сваркой под слоем флюса с осцилляцией параметров режима сварки для повышения качества сварных соединений и расширения технологических возможностей способа сварки.

Основными задачами проведения исследовательских работ являются:

1. Разработка программируемого по траектории движения и энергетическим параметрам, комплекса дуговой сварки под слоем флюса.
2. Установление оптимальных режимов параметра процесса и техники выполнения односторонней однопроходной сварки тонколистовых деталей из низкоуглеродистой сварки без формирующих устройств, отвечающих требованиям нормативной документации (ГОСТ 8713-79).
3. Определение закономерностей влияния параметров осцилляции режимов процесса сварки на структуру и свойства металла шва сварного соединения.
4. Определение экономической эффективности процесса автоматической сварки под слоем флюса с осцилляцией режимов процесса сварки.

Научная новизна заключается в разработке методов и алгоритмов управления термическим циклом сварки под флюсом, позволяющие более точно контролировать температуру зоны термического влияния, объем расплавленного металла и скорость охлаждения сварочной ванны, обеспечивающее стабильные характеристики получаемого сварного соединения. А также в установлении закономерностей влияния осцилля-

ции параметров режима процесса сварки на структурные изменения в металле шва, механические и эксплуатационные свойства сварных соединений под слоем флюса.

Практическая ценность работы отразится в способе автоматической сварки под слоем флюса с осцилляцией параметров режима процесса при однопроходной односторонней сварке тонколистовых конструкций из низкоуглеродистой стали без применения формирующих обратный валик устройств, увеличивающий как минимум вдвое производительность сборки металлоконструкций по сравнению с двухсторонней сваркой; в разработанном, программируемом по траектории движения и энергетическим параметрам, комплексе дуговой сварки под слоем флюса, обеспечивающем возможность перемещения сварочной головки в процессе сварки по осям XYZ (сложная траектория) и управления дуговым воздействием (импульс, пульсирующая дуга), расширяющий технологические возможности способа сварки (сварка больших толщин при минимальном количестве проходов); снижении количества внутренних дефектов, коробления и деформаций тонкостенных металлоконструкций при осцилляции параметров режима сварки

### **Заключение**

Известные способы дуговой сварки имеют множество дополнительных возможностей, серьезно расширяющих перспективы их технологического применения в различных отраслях машиностроения. Так, сварка под слоем флюса имеет ресурсы, позволяющие повышать скорость сварки и глубину проплавления, регулировать структуру и свойства металла шва и зоны термического влияния путем программного управления параметрами режима, для осуществления которого требуется создание специфического сварочного оборудования и проведение множества экспериментальных работ. Для увеличения положительного эффекта от вышеописанных средств существует возможность его комбинирования с другими способами сварки, например лазерной, сварки с предварительным, сопутствующим и последующим подогревом, применения ионизирующих газов (аргон, гелий и др.), сварка в узкую разделку с добавкой сыпучих наполнителей. Возможна разработка и применение флюсов, обладающих высокими значениями теплоемкости, дающими эффект аккумуляции тепла [5].

### **Благодарности**

Статья подготовлена в рамках гранта № ВН1/2023.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Патон Е. О. Воспоминания. Киев. Держлітвидав України. 1955г. 322 с.
2. Потапов, Н. Н. Технология автоматической сварки под флюсом [Обзор / Н. Н. Потапов]. – Москва : НИИЭинформэнергомаш, 1980. – 27 с. : ил.
3. Опыт применения флюса ОК FLUX 10.71 и проволоки 12-22 для сварки двухсторонних стыковых соединений низкоуглеродистой стали / П. В. Бахматов, А. В. Москаева, Е. А. Старцев, Г. И. Усанов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2019. – Т. 1, № 3(39). – С. 81-95. – EDN MKHQQI.
4. Крампит, А. Г. Способы управления формированием сварного шва / А. Г. Крампит, Н. Ю. Крампит // Технологии и материалы. – 2015. – № 3. – С. 21-26. – EDN UNWCBV.
5. Старцев, Е. А. Структура и свойства сварного соединения при дуговой сварке низкоуглеродистой стали под слоем флюса, полученного из металлургического шлака электросталеплавильного производства / Е. А. Старцев, В. В. Григорьев, П. В. Бахматов // Вопросы материаловедения. – 2024. – № 2(118). – С. 104-121. – DOI 10.22349/1994-6716-2024-118-2-104-121. – EDN JPMRTT.

УДК 621.7-5

Короткий Михаил Михайлович, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Korotkiy Mikhail Mikhailovich, master's student, Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Aleksei Valerevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ УСТАНОВКИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ**

## **APPLICATION OF THE DISCRETE AUTOMATIC MACHINES DESIGN METHODOLOGY FOR THE AUTOMATIC WELDING MACHINE CONTROL PROGRAM DEVELOPMENT**

Аннотация. Приводятся результаты проектирования и тестирования управляющей программы для установки автоматической сварки. Программа разработана для промышленного логического контроллера на языке Function block diagram. При разработке программы применена методика проектирования конечных автоматов Мура. Разработанная программа управляет продольным перемещением сварочной горелки и величиной сварочного тока. Программа реализует алгоритм сварки с пульсирующей дугой с синхронным дискретным перемещением сварочной горелки.

Abstract. There are presented the results of designing and testing of an automatic welding machine control program. The control program was developed for an industrial programmable logic controller in the Function block diagram language. The control program is designed using the discrete Moore machine design method. The program controls the welding torch longitudinal movement and welding current.

Ключевые слова: автоматическая сварка, программирование, программируемый логический контроллер (ПЛК), автомат Мура, язык функциональных блоков (FBD).

Key words: automatic welding, programming, programmable logic controller (PLC), Moore machine, function block diagram (FBD).

### **Введение**

Системы управления современных установок автоматической сварки, как правило, конструируются с использованием унифицированных электронных модулей, в том числе с использованием программируемых логических контроллеров (ПЛК), электроприводов и других систем автоматизации. Этот подход позволяет реализовывать различные алгоритмы сварки на одном и том же оборудовании без изменения его аппаратной и механических частей.

Известны положительные результаты от использования импульсной сварочной дуги взамен непрерывной, в том числе уменьшение вероятности прожога и непровара, уменьшение термических напряжений и др. [1, 2]. Но в настоящее время импульсная дуга в основном реализуется средствами источника питания дуги, то есть программируется линейное перемещение сварочной горелки, а величина сварочного тока импульсно изменяется от минимального до максимального значений с заданной частотой. При таком подходе тепловложения от тока сварочной дуги на разных участках траектории перемещения сварочной горелки получаются разными, не смотря на инерционность процессов теплопередачи сварочной ванны и окружающего её металла, что обуславливает разные условия формирования сварного шва на разных участках траектории. Для обеспечения одинаковых условий формирования сварочной ванны от каждого импуль-

са сварочного тока предложено выполнять остановку перемещения сварочной горелки во время действия импульса сварки.

Цель работы – разработка алгоритма и управляющей программы для ПЛК, реализующей алгоритм сварки пульсирующей дугой с синхронизированными дискретными перемещениями сварочной горелки.

### Основная часть

Проектирование программы управления выполнено по методике проектирования конечного автомата Мура [3, 4]. Упрощённый алгоритм работы представлен на рисунке 1. На рисунке используются следующие обозначения:

- $E$  – сигнал разрешения работы;
- $T1$  – сигнал срабатывания таймера формирования сварочной ванны;
- $D$  – сигнал завершения работы электропривода перемещения горелки;
- $T2$  – сигнал срабатывания таймера импульса сварки;
- $S0$  – состояние «Стоп»;
- $S1$  – формирование сварочной ванны;
- $S2$  – перемещение горелки;
- $S3$  – сварка.

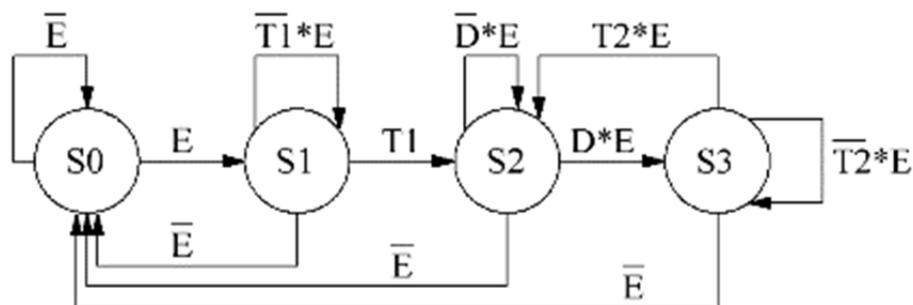


Рисунок 1 – Алгоритм работы схемы управления

Сигналы исполнительным устройствам генерируются по следующему алгоритму:

- *Weld* (работа источника питания дуги) – в состояниях  $S1, S2, S3$ ;
- *IPulse* (сварочный ток в импульсе) – в состояниях  $S2, S3$ ;
- *IPause* (сварочный ток в паузе) – в состоянии  $S2$ ;
- *Step* (перемещение вдоль шва) – в состоянии  $S2$ ;
- *Timer1* (работа таймера сварочной ванны) – в состоянии  $S1$ ;
- *Timer2* (работа таймера сварки) – в состоянии  $S3$ .

Для хранения информации о состоянии логического автомата использовались две булевых переменных:  $N0$  и  $N1$ . Алгоритм работы логического автомата описываются соответствующими таблицами (таблица 1, 2).

Таблица 1 – Кодирование состояний дискретного автомата

Состояние		Сигналы исполнительных устройств						
$S$	$N1$	$N0$	$Weld$	$IPulse$	$IPause$	$Step$	$Timer1$	$Timer2$
$S0$	0	0	0	0	0	0	0	0
$S1$	0	1	1	1	0	0	1	0
$S2$	1	0	1	0	1	1	0	0
$S3$	1	1	1	1	0	0	0	1

Таблица 2 - Таблица переходов логического автомата

Входные сигналы				Текущее состояние			Следующее состояние			Сигналы управления триггерами			
<i>E</i>	<i>T1</i>	<i>D</i>	<i>T2</i>	<i>S</i>	<i>N1</i>	<i>N0</i>	<i>S</i>	<i>N1</i>	<i>N0</i>	<i>R1</i>	<i>S1</i>	<i>R0</i>	<i>S0</i>
0	X	X	X	<i>S0</i>	0	0	<i>S0</i>	0	0	X	0	X	0
1	X	X	X	<i>S0</i>	0	0	<i>S1</i>	0	1	X	0	0	1
1	0	X	X	<i>S1</i>	0	1	<i>S1</i>	0	1	X	0	0	X
1	1	X	X	<i>S1</i>	0	1	<i>S2</i>	1	0	0	1	1	X
0	X	X	X	<i>S1</i>	0	1	<i>S0</i>	0	0	X	0	1	X
1	X	0	X	<i>S2</i>	1	0	<i>S2</i>	1	0	0	X	X	0
1	X	1	X	<i>S2</i>	1	0	<i>S3</i>	1	1	0	X	0	1
0	X	X	X	<i>S2</i>	1	0	<i>S0</i>	0	0	1	X	X	0
1	X	X	1	<i>S3</i>	1	1	<i>S2</i>	1	0	0	X	1	X
1	X	X	0	<i>S3</i>	1	1	<i>S3</i>	1	1	0	X	0	X
0	X	X	X	<i>S3</i>	1	1	<i>S0</i>	0	0	1	X	1	X

Логические функции для выходных сигналов:

$$Timer1 = N0 \cdot \overline{N1}$$

$$Timer2 = N0 \cdot N1$$

$$Weld = N1 + N0 \cdot \overline{N1} = N1 + Timer1$$

$$Ipulse = N0$$

$$Ipause = Step = \overline{N0} \cdot N1$$

Сигналы управления триггерами:

$$R1 = \overline{E}$$

$$S1 = E \cdot T1 \cdot N0$$

$$R0 = \overline{E} + T1 \cdot \overline{N1} \cdot N0 + T2 \cdot N1 \cdot N0 = \overline{E} + T1 \cdot Timer1 + T2 \cdot Timer2$$

$$S0 = E \cdot (\overline{N1} + D)$$

По полученным логическим выражениям была спроектирована программа управления на языке FBD (рисунок 2) и проведено её тестирование (рисунок 3).

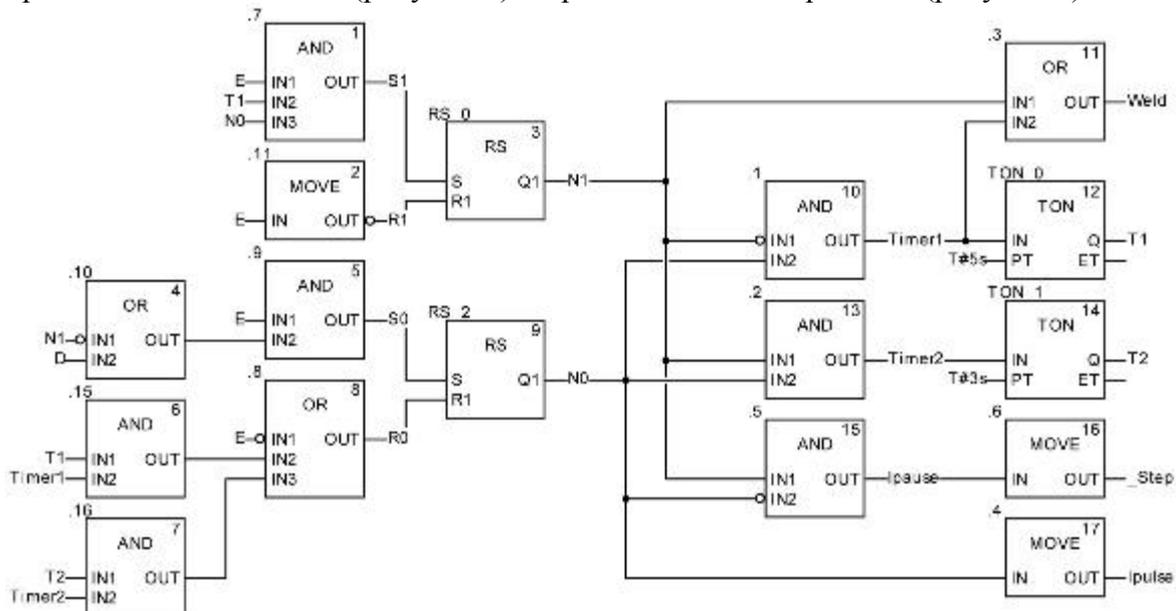


Рисунок 2 – Функциональная схема программы управления

## Заключение

Таким образом, в работе с помощью методики проектирования конечных автоматов Мура спроектирована программа управления установкой автоматической сварки для ПЛК на языке FBD. Спроектированная программа обеспечивает алгоритм сварки пульсирующей дугой с дискретным синхронным перемещением сварочной горелки. Программа позволяет изменять длительность импульса сварки во время формирования сварочной ванны, а также длительность импульса сварки во время процесса сварки пульсирующей дугой. Длительность паузы определяется длительностью перемещения сварочной горелки (скоростью перемещения горелки и расстоянием перемещения). Полученная программа протестирована в симуляторе, продемонстрировала корректную работу и будет внедрена в реальный сварочный автомат для дальнейшего тестирования и отработки режимов сварки.

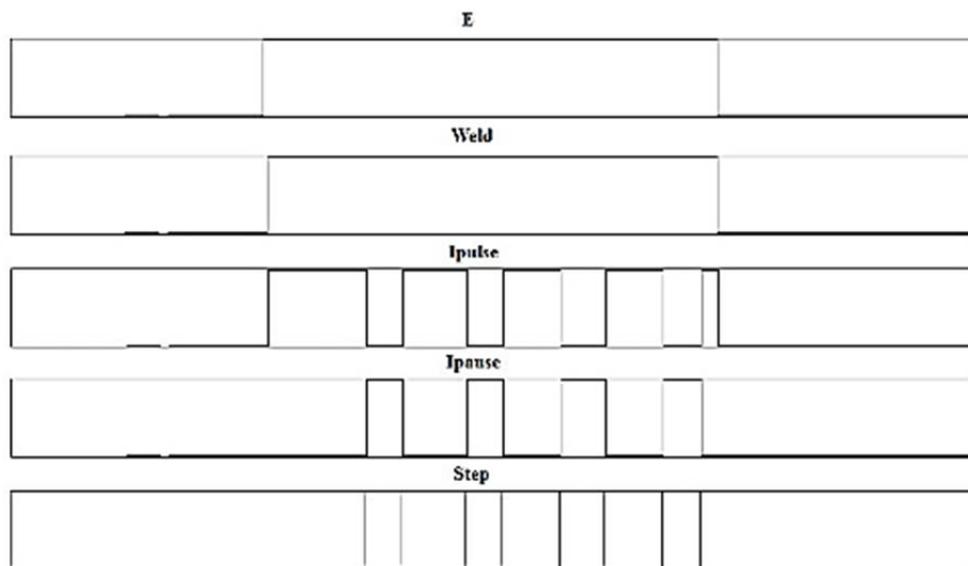


Рисунок 3 – Диаграммы работы спроектированной программы управления

## Благодарности

Статья подготовлена в рамках гранта № ВН1/2023.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лупачев, А. В. Технология сварки плавлением : учебное пособие / А. В. Лупачев, В. Г. Лупачев. - Минск : РИПО, 2020. - 446 с. - ISBN 978-985-7234-92-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1854163> (дата обращения: 02.12.2024). – Режим доступа: по подписке.
2. Игнатъев, Ю. Е. Импульсная и пульсирующая дуговая сварка алюминиевых сплавов / Ю. Е. Игнатъев, В. В. Овчинников, В. И. Рязанцев // Машиностроение и инженерное образование. – 2007. – № 2(11). – С. 12-28. – EDN KDSXLJ.
3. Постников, А.И. Прикладная теория цифровых автоматов : учеб. пособие / А.И. Постников, О.В. Непомнящий, Л.В. Макуха. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. - 206 с. - ISBN 978-5-7638-3661-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1032125> (дата обращения: 02.12.2024). – Режим доступа: по подписке.
4. Князькова, В. С. Введение в теорию автоматов : учебное пособие / В. С. Князькова, Т. В. Волченская. - Москва : ИНТУИТ, 2016. - 64 с. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2138779> (дата обращения: 02.12.2024). – Режим доступа: по подписке.

УДК 621.791.75

Короткий Михаил Михайлович, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Korotkiy Mikhail Mikhailovich, master's student, Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Aleksei Valerevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМ ЗОНДИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЗАГОТОВОК ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СВАРКЕ WORKPIECES POSITION SENSORS EVOLUTION IN AUTOMATED WELDING**

Аннотация. Приводятся результаты анализа развития систем зондирования пространственного положения деталей как перед процессом автоматизированной сварки, так и во время сварки. Цель работы заключается в выявлении метода зондирования, наиболее подходящего для процесса автоматизированной сварки трубных заготовок толщиной до 2 мм и диаметром до 100 мм. В работе представлены основные способы измерения геометрических параметров кромок деталей и геометрических параметров сварного шва, в том числе: контактное зондирование, индуктивный, ёмкостный контроль, акустическое зондирование, оптическое сканирование, дуговое зондирование.

Abstract. There are presented the results of an analysis of the development of systems for sensing the spatial position of parts both before the automated welding process and during welding. The purpose of the work is to identify the sensing method most suitable for the process of automated welding of pipe with a thickness of up to 2 mm and a diameter of up to 100 mm. The paper presents the main methods for measuring the parts edges geometric parameters and the weld geometric parameters, including: contact probing, inductive, capacitive testing, acoustic probing, optical scanning, arc probing.

Ключевые слова: сварка, геометрические параметры, контактное зондирование, оптическое сканирование, дуговое зондирование.

Key words: welding, geometric parameters, contact probing, optical scanning, arc probing.

### **Введение**

Современные роботизированные сварочные комплексы за счёт применения соответствующего программного обеспечения и накопленных баз данных максимально упрощают труд технологов, автоматизируя операции выбора режимов работы сварочного оборудования (источника питания дуги, системы подачи присадочной проволоки, системы подачи защитного газа), траектории движения сварочной горелки и т.д. Но дальнейшая автоматизация сварочных технологий подразумевает применение адаптивных алгоритмов управления, корректирующих параметры технологического процесса сварки в реальном времени в зависимости от условий производства сварочных работ. Кроме того, необходимы соответствующие датчики, регистрирующие геометрические параметры и пространственное положение свариваемых деталей, состояние и положение сварочной дуги, геометрические параметры сварочной ванны и сварного шва и т.д. Поэтому выбор оптимальной системы зондирования положения свариваемых заготовок является ключевым моментом при решении задачи автоматизации сварочного производства.

На сегодняшний день известно достаточно большое количество методов и способов измерения пространственного положения деталей, которые применяются различными производителями сварочного оборудования. Цель настоящей статьи – познакомить читателя с известными методами измерения и контроля геометрических парамет-

ров в сварке, их эволюции с позиции теории решения изобретательских задач [1], а также с особенностями их практического применения для решения узкой задачи – автоматизации технологии сварки тонкостенных трубопроводов малого диаметра.

### **Основная часть**

Функция рассматриваемой системы - определять геометрические параметры и пространственное положение сварных заготовок, а также геометрические параметры и пространственное положение сварного шва. основные параметры системы контроля: количество контролируемых параметров; скорость контроля (измерения); погрешность измерения; цена.; себестоимость контроля; интервал рабочих температур объекта контроля.

Исторически первая система контроля использует механическую измерительную систему – щуп [2, 3]. Сканирование осуществляется путём перемещения щупа до касания со сканируемой деталью. Измерение положения точки сканирования выполняется за счёт измерения перемещения щупа относительно некоторой базовой точки. Эта система позволяет измерять один параметр. Скорость измерения – низкая, определяется скоростью перемещения механических частей щупа и количеством точек измерения. Погрешность измерения – доли миллиметра и определяется жёсткостью и люфтами механической системы, а также точностью измерительной системы. Измерения возможны только у объекта с невысокой температурой из-за необходимости физического контакта щупа с объектом исследования. Стоимость системы – низкая из-за простоты системы. Себестоимость контроля – высокая из-за необходимости оплаты труда оператора и необходимости проведения большого количества измерений. Система отличается простотой в ущерб остальным параметрам.

Требование к улучшению существующей системы заключается в необходимости повышения количества контролируемых параметров. За счёт одномерного перемещения щупа система может контролировать только какой-либо один параметр. Измерение другого параметра уменьшает скорость контроля, так как требует переориентацию измерительной системы, что является техническим противоречием. Для разрешения противоречия был использован принцип перехода в другое измерение, за счёт которого удалось повысить количество степеней свободы измерительного инструмента в пределах до шести – перемещение по трём ортогональным координатам и вращение относительно трёх ортогональных осей. В результате этого улучшился параметр «количество контролируемых параметров» с незначительным повышением цены.

Дальнейшее улучшение системы было вызвано необходимостью повышения скорости работы оборудования и снижения его стоимости. Низкая скорость работы и высокая цена обусловлены применением двух систем позиционирования – одна перемещает измерительный щуп, другая – рабочий инструмент – сварочную горелку. То есть сначала работает первая система, затем – вторая. Так как эти системы работают в одном месте, то их совместная работа невозможна и требуется время для замены одной системы другой. В ранних системах измерения это проблема разрешалось путём разнесения во времени нахождения этих систем. В процессе эволюции в соответствии с принципом универсальности вместо измерительного щупа стал использоваться сварочный электрод (рисунок 1, а) [2, 3]. Такое решение привело к исключению из системы измерительного щупа с системой позиционирования, сократило тем самым цену системы и затраты времени на замену щупа на сварочный электрод.

Дальнейшее улучшение системы связано с необходимостью повышения скорости измерений, расширению температурного диапазона сканируемых деталей, повышению точности измерений. Основное техническое противоречие заключалось в одновременной необходимости касания щупом детали для проведения измерений и запрет на касание из-за высокой температуры заготовки во время сварки или сразу после неё. Данное противоречие разрешилось в соответствии с принципами посредника и замены

механической системы. В результате механический щуп заменяется бесконтактным лазерным измерителем расстояния (рисунок 1, б) [4]. В результате этого шага эволюции измерительная система улучшила следующие параметры: скорость контроля, погрешность измерения, интервал рабочих температур при некотором повышении цены системы. При этом система получила дополнительную функцию контроля геометрических размеров сварного шва непосредственно после сварки (в горячем состоянии), а также контроля положения заготовок непосредственно вблизи зоны сварки.

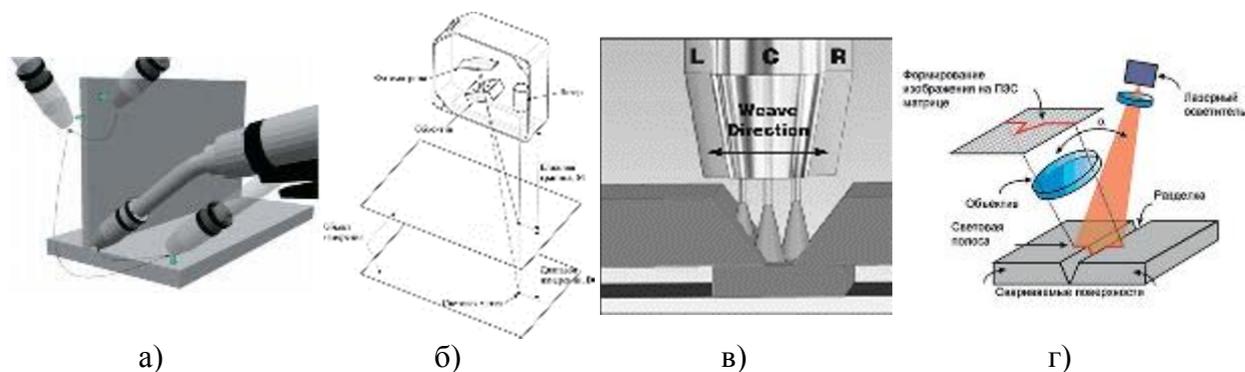


Рисунок 1 – Системы сканирования пространственного положения сварочных заготовок: а – сварочным электродом; б – триангуляционным дальномером; в – сварочной дугой; г – лазерным лучом

Проведение измерений вышеописанным способом с помощью лазерного дальномера вызывает трудности при определении положения сварочного электрода относительно оси сварного шва – относительно кромок свариваемых деталей по следующим причинам. Для проведения измерений датчик расстояния должен быть перпендикулярен плоскости объекта измерений, но это невозможно, так как кромки свариваемых деталей выполнены с «фаской». Кроме того, датчик расстояния должен принимать свет, отражённый от объекта измерений, но не должен принимать свет от сварочной дуги. Одним из вариантов разрешения указанных противоречий в соответствии с принципами универсальности, замены механической системы служит замена лазера на электрическую сварочную дугу. При этом расстояние между сварочным электродом и поверхностью свариваемой детали определяется по току и напряжению дуги, а сканирование выполняется за счёт поперечных перемещений сварочного электрода во время сварки (рисунок 1, в) [5]. Кроме получения новой функции сканирования профиля свариваемых деталей непосредственно в процессе сварки данная система исключает использование дополнительного устройства – лазерного дальномера, что снижает её стоимость.

Повышение количества контролируемых параметров и повышение скорости измерения вышеописанной лазерной системой ограничивается следующим противоречием: одновременно необходимо измерять расстояние до нескольких точек и делать это невозможно из-за принципа работы лазерного дальномера (который измеряет расстояние только до одной точки). Данное противоречие разрешается с помощью принципов объединения и динамичности, в результате чего система измерения эволюционировала до системы линейного сканирования (рисунок 1, г). В этой системе лазерный луч совершает линейные перемещения (реже круговые), а отражённый луч фиксируется двумерной фоточувствительной матрицей. Размеры сканируемого профиля находятся в результате преобразований двумерного изображения. Результат этого этапа эволюции – повышение количества одновременно измеряемых параметров, повышение скорости измерения, автоматизация процесса измерения (снижение затрат на труд оператора), возможность сканирования поверхностей с широким температурным интервалом. Но цена измерительной системы повышается.

Дальнейшее повышение количества контролируемых параметров и повышение скорости измерения сталкивается с вышеуказанным противоречием, которое разрешается в соответствии с принципом дробления. То есть сканирующий луч дробится на точки в виде двумерной сетки. Рельеф сканируемой поверхности определяется по анализу отклонений отражений сканирующих «точек» от положений, соответствующих отражению от плоскости. В результате этого этапа эволюции можно повысить количество контролируемых параметров и скорость сканирования при незначительном усложнении конструкции лазерной подсветки.

Дальнейшее совершенствование системы сканирования сталкивается с необходимостью сканирования сварочной ванны во время сварки с высокой скоростью. Для этого необходимо разрешить противоречие – сканирующее устройство должно принимать свет от лазера подсветки, но сканирующее устройство не должно засвечиваться светом от сварочной дуги. Это противоречие может быть разрешено по принципам местного качества, периодического действия совместно с принципом проскока, использования тонких плёнок совместно с принципом изменения окраски. Так, например, приёмник сканирующего устройства можно снабдить светофильтром и использовать лазерную подсветку с соответствующей длиной волны, при этом длина волны подсветки должна соответствовать спектральному минимуму излучения сварочной дуги. Другой путь решения указанного противоречия заключается в импульсной лазерной подсветке и дальнейшем дифференциальном анализе картинок, полученных без подсветки и с подсветкой. Также можно предложить применять импульсную сварку с импульсным сканированием, при этом во время сканирования гасить сварочную дугу. Эти приёмы позволят получить дополнительную функцию – сканирование сварочной ванны в процессе сварки.

#### **Заключение**

Таким образом, в работе представлен ТРИЗ эволюционный обзор систем зондирования пространственного положения деталей, применяемых при автоматизации технологических операций дуговой сварки. Показано, что эволюция рассматриваемых систем привела их к использованию бесконтактных способов сканирования с использованием анализа оптического излучения или параметров сварочной дуги.

Для бесконтактного зондирования трубных заготовок перед процессом сварки представляется перспективным использование сканирования лазерным лучом для получения информации о взаимном расположении заготовок относительно друг друга и профиля свариваемых кромок.

Для контроля параметров сварочной ванны в процессе сварки можно использовать сканирование с активной подсветкой лазерной сеткой с применением оптических фильтров или с импульсной подсветкой и импульсной сваркой.

#### **Благодарности**

Статья подготовлена в рамках гранта № ВН1/2023.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Бердонос В.Д. ТРИЗ–эволюция системы от изобретения до настоящих дней: методические указания к проведению цикла лабораторных работ по дисциплине «Теория и практика научных исследований» / В.Д.Бердонос, А.А.Животова – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре гос. техн. ун-т, 2020. – 24 с.
2. Kah, P., Shrestha, M., Hiltunen, E. et al. Robotic arc welding sensors and programming in industrial applications. *Int J Mech Mater Eng.* – 2015. – V. 10:13. – P. 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40712-015-0042-y>.
3. Fan, D., Zhang, G., Shi, Y., Zhu, M. Progress and Trend in Intelligent Sensing and Control of Weld Pool in Arc Welding Process. In: Chen, S., Zhang, Y., Feng, Z. (eds) *Transactions on Intelligent Welding Manufacturing*. Transactions on Intelligent Welding Manufactur-

ing. – 2018. – No. 3. – Springer Singapore, 2019. – С. 27-43. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-7418-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7418-0_2).

4. Eren, B., Demir, M.H. & Mistikoglu, S. Recent developments in computer vision and artificial intelligence aided intelligent robotic welding applications. *Int J Adv Manuf Technol.* – 2023. – V. 126. – P. 4763–4809. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11456-4>.

5. Fan, X., Gao, X., Liu, G. et al. Research and prospect of welding monitoring technology based on machine vision. *Int J Adv Manuf Technol.* – 2021. – V. 115. – P. 3365–3391. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07398-4>.

УДК 621-05

Кравченко Андрей Константинович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kravchenko Andrey Konstantinovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Кравченко Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kravchenko Elena Genadyevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ОЦЕНКА СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ КОНТРОЛЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ESTIMATION OF THE TOTAL ERROR IN THE CONTROL OF SURFACE ROUGHNESS**

Аннотация. В работе рассмотрены и проанализированы основные источники погрешности при контроле шероховатости портативными измерителями шероховатости в цеховых условиях измерения. Предложена методика оценки суммарной погрешности измерения шероховатости и приведен пример расчета суммарной погрешности типового портативного измерителя шероховатости. Приведены рекомендации по поверке прибора с учетом старения.

Abstract. The paper considers and analyzes the main sources of error in roughness control with portable roughness meters in shop measurement conditions. A method for estimating the total error of roughness measurement is proposed and an example of calculating the total error of a typical portable roughness meter is given. Recommendations for calibration of the device taking into account aging are given.

Ключевые слова: погрешность измерения, условия измерения, шероховатость поверхности, датчик, температура.

Key words: measurement error, measuring conditions, surface roughness, sensor, temperature.

### **Введение**

При контроле параметров шероховатости поверхности портативными приборами, используемыми на большинстве машиностроительных предприятий, условия измерения в цехе отличаются от лабораторных. Ряд влияющих величин при таких измерениях выходят из области нормальных значений в область рабочих значений. Таким образом, при контроле помимо пронормированной основной погрешности прибора возникает дополнительная погрешность, увеличивающая общую погрешность прибора, влияние которой не учитывается при обработке результатов измерений параметров шероховатости. В этой связи, возникает необходимость в оценке суммарной погрешности измерения при контроле шероховатости поверхности портативными измерителями шероховатости.

## Основная часть

При оценке суммарной погрешности измерения наиболее информативным читается выражение ее не через среднеквадратическое отклонение (СКО), поскольку оно в большей степени характеризует точность применяемого метода измерения, а в виде доверительного интервала неопределенности. Однако с теоретической точки зрения такой переход от СКО к доверительным значениям погрешностей при определении результирующей погрешности, является сложной математической и статистической операцией при обработке результатов многократных равнозначных измерений.

Приведенная погрешность, вычисляемая по формуле  $\gamma_d = t \sum \delta \Sigma$ , определяется с помощью квантильных множителей  $\delta \Sigma$  и  $t \Sigma$ , а их вычисление связано с определением характера распределения суммарной погрешности. В процессе решения практических задач, связанных с обработкой результатов измерений, существующие методы [1] направлены на избегание точного определения закона распределения всех составляющих погрешностей, возникающих в ходе измерений, так как это представляет собой довольно сложную метрологическую задачу.

Таких образом, в поставленной задаче по оценке результирующей погрешности при измерении параметров шероховатости портативным прибором, в качестве основных источников погрешности портативного измерителя шероховатости и их основных характеристик примем следующие:

Датчик: сопротивление  $R_d = 300 \text{ Ом}$ ; максимальная приведенная погрешность  $\gamma_{md} = 0,20 \%$ ; питание  $U_d = 200 \cdot 10^{-3} \text{ В}$ ; коэффициент стабилизации  $K = 20$ .

Питание сети: напряжение  $U_c = 220 \text{ В}$ ; нестабильность напряжения:  $\pm 12 \text{ В}$ ; частота  $f = 50 \text{ Гц}$ .

Линия связи: стационарно проложенная медная проводка с сопротивлением на каждой жиле  $R = 2 \text{ Ом}$ .

Напряжение наводки при измерении вольтметром составляет  $U_{наб} = 0,6 \text{ В}$  (при частоте наводки  $50 \text{ Гц}$  и входном сопротивлении  $R_{вх\text{вольт}} = 0,5 \cdot 10^6 \text{ Ом}$ ).

Условия измерения в цехе: датчик расположен на объекте измерения в цехе, где температура зимой  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$  (при открывании ворот до  $0^\circ\text{C}$ ), температура летом до  $+35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Принимаем температуру цеха  $20 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Условия измерения в лаборатории: усилитель и регистратор расположены в лаборатории с температурой  $20 \pm 6 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**1 Погрешность от наводки на линию связи.** При подключении к системе вольтметра, обладающего входным сопротивлением  $0,5 \text{ МОм}$ , на его входе наблюдается спад напряжения в  $0,6 \text{ В}$ , что указывает на протекающий ток.

Сила тока наводки:

$$J_{наб} = \frac{U_{наб}}{R_{вх\text{вольт}}}, \\ J_{наб} = 0,6 \cdot 10^{-6} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ А.}$$

Данный ток наводки вызывает падение напряжения на датчике:

$$U = J_{наб} \cdot R_d; \\ U = 6 \cdot 10^{-7} \cdot 300 = 1,8 \cdot 10^{-4} = 0,18 \text{ мВ.}$$

Приведённая погрешность от наводки (при максимальном сигнале с датчика  $300 \text{ мВ}$ ):

$$\gamma_{наб} = \frac{U \cdot 100 \%}{U_d} = \frac{0,18 \cdot 100 \%}{300} = 0,6 \%.$$

Так как входное значение напряжения от наводки снято по шкале вольтметра и составляет  $0,6 \text{ В}$ , то СКО от наводки:

$$\delta_{наб} = \gamma_{наб}, \delta_{наб} = 0,6 \%.$$

Максимальное значение приведенной погрешности:

$$\gamma_{mнаб} = \delta_{наб} \cdot \sqrt{2}, \gamma_{mнаб} = 0,25456 \%.$$

Закон распределения – арксинусоидальный, при котором  $\gamma_{mнаб} = \pm 0,255 \%$ .

Таким образом, энтропийный коэффициент равномерного распределения составляет  $K_{\text{нав}} = 1,11$ ; эксцесс  $\varepsilon = 1,5$ ; контрэксцесс  $\chi = 0,816$ .

Поскольку погрешность от наводки не зависит от величины сигнала, то есть теоретически считается аддитивной, но в данном случае будет носить мультипликативный характер, т.к. напряжение линейно увеличивается с возрастанием входного сигнала.

**2 Основная погрешность датчика.** По паспорту максимальная приведенная погрешность датчика составляет  $\gamma_{\text{md}} = 0,20 \%$ . Погрешность дискретности представляет собой один из ключевых факторов, влияющих на общую погрешность датчика. Она определяется ограниченным количеством витков обмотки, которые используются для движения контакта. Эта погрешность дискретности подчиняется равномерному распределению. В характеристиках датчика указано, что обмотка состоит из 400 витков, а погрешность дискретности рассчитывается на  $\pm 0,5$  витка. В этом случае, погрешность может быть рассчитана как  $0,0001 \cdot 100 \% = 0,1 \%$ .

В первом приближении определим закон распределения основной погрешности.

$$\frac{0,5}{400} \cdot 100 \% = 0,125 \%$$

Значение  $0,125 \%$  составляет большую часть от общей погрешности  $0,20 \%$ , поэтому упрощенно принимаем, что закон распределения общей погрешности близок к закону распределения погрешности дискретности – равномерному закону.

Так как закон равномерный, то СКО основной погрешности датчика равно:

$$\delta d = \frac{\gamma_{\text{md}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,20}{\sqrt{3}} = 0,115 \%$$

Для равномерного распределения  $\kappa = 1,73$ ;  $\chi = 0,745$ ;  $\varepsilon = 1,8$ .

Погрешность аддитивна, так как постоянна на всём диапазоне.

**3 Температурная погрешность датчика.** Температурная погрешность датчика подлежит определению, поскольку она не указана в паспорте. Датчик соединен последовательно с двумя медными проводниками, каждый из которых обладает сопротивлением в 2 Ом.

Условия измерения: температура в цехе изменяется в диапазоне  $(20 \pm 20) \text{ }^\circ\text{C}$ ; коэффициент температурного расширения меди  $\alpha_\theta = \frac{4\%}{10\text{K}}$ , т.е. на каждые 10 градусов Цельсия  $\alpha_\theta = \frac{4}{100}$ ; сопротивление жилы обмотки  $R = 2 \text{ Ом}$ ; изменение сопротивления каждой жилы

$$\Delta R = \Delta_\theta \cdot \alpha_\theta \cdot R, \text{ где } \Delta_\theta = \frac{20}{10}; \Delta R = \frac{20}{10} \cdot \frac{4}{100} \cdot 2 = 0,16 \text{ Ом.}$$

Приведенная температурная погрешность датчика (от изменения температуры / сопротивления линии) составит:

$$\gamma_{\text{m}\theta d} = \frac{\Delta R \cdot 100\%}{R_d} = \frac{0,16 \cdot 100}{300} = 0,053 \%$$

Чтобы перейти к значению предельной погрешности, возникающей из-за колебаний температуры в производственном помещении от  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$ , необходимо установить закон распределения температурной погрешности датчика.

Согласно установленным требованиям, температура в цехе должна поддерживаться в районе  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  и лишь изредка достигать крайних значений  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Исходя из этого, можно предположить, что температура распределяется по нормальному закону, то есть в течение 4 дней в году регистрируется  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  и 4 дня  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$ , а на протяжении остальных 357 дней температура находится в пределах стандартных условий измерений.

$$\frac{357}{365} = 0,978 \%$$

Значение  $0,978 \%$  случаев температура не выходит за эти пределы.

Для нормального распределения [1] по таблице квантилей находим, что при вероятности  $P = 0,98$  квантильный множитель равен  $tn = 2,33\delta$ .

СКО температуры при нормальном законе распределения

$$\delta\theta d = \frac{\gamma m \theta d}{t_n} = \frac{0,053}{2,33} = 0,23 \% .$$

Предельное значение приведенной погрешности датчика от температуры:

$$\gamma m \theta d = t_n * \delta\theta d, \delta\theta d = 0,023 \% .$$

Погрешность не меняется с величиной температуры, то есть она аддитивна. Для равномерного распределения  $\kappa = 2,066$ ;  $\chi = 3$ ;  $\varepsilon = 0,577$ .

**4 Погрешность датчика от колебаний напряжения питания.** Поскольку погрешность изменяется пропорционально величине напряжения, она считается мультипликативной и подчиняется треугольному распределению с диапазоном  $\pm 12 \%$ , что и колебания напряжения в сети. Для сокращения амплитуды колебаний напряжения в 20 раз был установлен стабилизатор с коэффициентом стабилизации  $K = 20$ .

Предельное значение приведенной погрешности датчика от скачков напряжения:

$$\gamma_{mud} = \frac{12\%}{20} = 0,6\% ,$$

СКО для треугольного закона распределения:

$$\delta_{ud} = \frac{\gamma_{mud}}{\sqrt{6}}, \delta_{ud} = 0,245 \% .$$

Параметр этого распределения:  $\kappa=2,02$ ;  $\chi=2,4$ ;  $\varepsilon=0,65$ .

Суммарная погрешность датчика в начале диапазона:

$$x = 0, \\ \delta_n = \sqrt{\delta d^2 + \delta\theta d^2 + \delta\theta \gamma_{per}^2 + \delta_{per}^2}$$

Выбираем эти составляющие, т.к. они аддитивные не коррелированные.

$$\delta_n = \sqrt{0,115^2 + 0,0230^2 + 0,104^2 + 0,087^2}$$

Для исключения пренебрежимо малых составляющих погрешности воспользуемся правилами [1]:

- отбрасывают одну наименьшую составляющую, если она в 5 раз меньше наибольшей;
- отбрасывают две составляющие, если они в 6 раз меньше наибольшей;
- три - если в 7 раз меньше;
- четыре - если в 8 раз меньше.

В рассматриваемом примере исключению подлежит  $\delta\theta d$  как величина меньше наибольшей в 5 раз.

$$\delta_n = 0,115 \% .$$

Результирующая погрешность в конце диапазона.

К полученному результату прибавляем мультипликативные составляющие:

$$\delta_k = \sqrt{\delta_n^2 + \delta_{нав}^2 + \delta\theta u d y^2} = \sqrt{0,179^2 + 0,180^2 + 0,39^2} = 0,2136 \% , \\ \delta_k \equiv 0,21 \% .$$

Закон результирующей погрешности определяется композицией:

- закона распределения  $\delta_n$ ;
- арксинусоидального;
- треугольного и треугольного.

Переходим от СКО к доверительным интервалам.

Для многих законов распределения для доверительной вероятности 0,9 квантильный множитель равен  $t = 1,6$ .

Приведённая погрешность в начале диапазона с доверительной вероятностью 0,9:

$$\gamma_{n0,9} = t * \delta_n = 1,6 * 0,115 = 0,184 \% .$$

Приведённая погрешность в конце диапазона с доверительной вероятностью 0,9:

$$\gamma_{k0,9} = t * \delta_k = 1,6 * 0,21 = 0,336 \% .$$

Анализ полученных результатов показал, что при назначении предельной допускаемой погрешности при ежегодной поверке канала с занесением значения класса точности прибора во ФГИС Аршин, он не может уже соответствовать заявленному в пас-

порте как 0,3 / 0,2. Поскольку при следующей ежегодной поверке погрешность может превысить указанный предел. Во избежание этого, класс точности должен указываться с запасом на старение не менее, чем на 25 %. Закладываем 25 %-ый запас на старение, для этого те же самые величины пересчитываем  $100 \% + 25 \% = 125 \% = 1,25$ :

$$\gamma_{н0,9} = 0,184 \cdot 1,25 = 0,23 \%,$$

$$\gamma_{к0,9} = 0,336 \cdot 1,25 = 0,42 \%.$$

### **Заключение**

В результате расчётов была выявлена погрешность, которая равна классу точности датчика. Так как  $0,184 \cdot 1,25 = 0,23$  и  $0,336 \cdot 1,25 = 0,42$ , то для внесения во ФГИС «Аршин», с учетом ГОСТ 8.401 [2], класс точности прибора должен быть указан 0,5/0,2.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Издательство Энергоатомиздат. Ленингр. Отд., 1991. – 304 с.
2. ГОСТ 8.401–80. Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования : меж государственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 12 ноября 1980 г. № 5320 : введен взамен ГОСТ 13600–68 : дата введения 1981-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 10 с.

УДК 661.961.6

Кравченко Андрей Константинович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kravchenko Andrey Konstantinovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Кравченко Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kravchenko Elena Genadyevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ПЕРЕКРЕСТНОТОЧНОЙ НАСАДКИ DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGICAL SCHEME OF AN INDUSTRIAL BENCH FOR TESTING A CROSS-FLOW PACKING**

Аннотация. В работе обоснован выбор перекрестноточных насадок, как наиболее эффективного способа организации контакта фаз в насадочных модулях. Предложена принципиальная технологическая схема производственного стенда для исследования характеристик работы перекрестно точных насадочных модулей различных геометрических размеров, которая позволит получать достоверные результаты стендовых исследований при проектировании аппаратов, работающих с нефтяными смесями.

Abstract. The paper substantiates the choice of cross-flow packings as the most effective way to organize phase contact in packing modules. A basic technological scheme of an industrial bench is proposed to study the characteristics of the operation of cross-precision packing modules of various geometric sizes, which will allow obtaining reliable results of bench studies in the design of devices working with oil mixtures.

Ключевые слова: ректификация, первичная колонна, промышленный стенд, массообмен, перекрестноточная насадка.

Key words: Rectification, Primary Column, Industrial Stand, Mass Transfer, Cross-Flow Packing.

## Введение

В современной нефтехимической отрасли ректификация считается главным процессом разделения, широко применяемым для очистки и достижения необходимой концентрации компонентов нефтяных смесей. Разделительный потенциал промышленных ректификационных установок признан главной их характеристикой. В настоящее время он оценивается такими параметрами, как эффективность, производительность и гибкость, определяющими способность установки разделить исходную смесь компонентов на заданные продукты с требуемой чистотой за счет различий в их температурах кипения.

Анализ литературных источников по данной теме показал, что применение регулярной насадки в качестве контактного устройства для повышения разделительного потенциала ректификационных колонн нашло широкое применение в химической промышленности. Следует отметить, что в международной практике переработки нефти применяется исключительно противоточный метод организации взаимодействия фаз в насадочных устройствах. В то время как в России в течение более 20 лет активно используется также перекрестноточная конфигурация взаимодействия фаз в таких модулях [1, 2].

Повышение эксплуатационных показателей, таких как границы устойчивой и эффективной работы перекрестноточных типов насадок в сравнении с прочими конфигурациями насадок, возможно путем получения информации об этих характеристиках в условиях производственных стендовых испытаний. Проверка крайних режимов эффективности перекрестно точных насадочных модулей на реальных промышленных объектах невозможна. Поэтому, чтобы улучшить конструкцию аппаратов в промышленных ректификационных колоннах, важно получить новые надежные сведения о работе этих насадочных модулей в условиях промышленного производства [3].

## Основная часть

Традиционно для оценки работы контактных устройств применялись так называемые «холодные стенды», на которых анализировалась гидродинамика взаимодействия встречных потоков в системе вода-воздух. Тем не менее, результаты, полученные на «холодных стендах», не могут в полной мере отразить реальный процесс массообмена. В этой связи остро встает вопрос о моделировании характеристик работы перекрестноточных насадочных модулей с различными конструктивными конфигурациями в условиях «горячего стенда», при разделении модельной бинарной смеси толуол – ортоксилол на реальной ректификационной колонне [4, 5].

Принципиальная технологическая схема промышленного стенда для испытания перекрестноточной насадки приведена на рисунке 1.

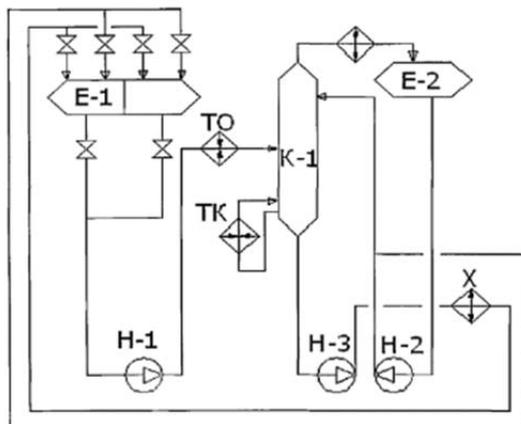


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема промышленного стенда для испытания перекрестноточной насадки

Емкость Е-1 конструктивно разделена на две части, оборудованные собственными датчиками для контроля уровня жидкости и температуры. Через теплообменник ТО насос Н-1 прокачивает сырье, поднимая его температуру до 105 °С (диапазон колебания температуры в процессе эксперимента допустим от 18 °С до 120 °С). Затем поток сырья поступает в приемник насадочной колонны К-1, где его параметры фиксируются с помощью датчиков, контролирующих температуру и расход. Колонна К-1 состоит из двенадцати модулей, оснащенных регулярными перекрестноточными насадками: шесть модулей установлены в секции отгона, а оставшиеся шесть находятся в секции укреплени.

В секции укрепления на верхней части колонны К-1 находятся датчики, которые контролируют параметры температуры и давления. Для создания противотока в верхнюю часть колонны осуществляется холодное орошение от насоса Н-2, который в зависимости от сигналов датчика расхода регулирует его объем. Паровые фракции, формирующиеся в верхней части колонны К-1, переносятся в конденсатор-холодильник КХ, где они, прежде чем самотеком перейти в накопительную емкость орошения Е-2, конденсируются и охлаждаются. Эта емкость оборудована датчиками для контроля уровня жидкости и температуры. Из Е-2 жидкость подается к входу насоса Н-2. Орошение осуществляется по линии нагнетания насоса Н-2, при этом лишний объем, образующийся в процессе, возвращается во вторую секцию сырьевой емкости Е-1. Расход орошения осуществляется в соответствии с показаниями от датчика расхода, что позволяет поддерживать оптимальные условия.

Отгонная секция колонны К-1 оснащена температурными, равномерными и датчиками давления, расположенными в самой емкости колонны. Для обеспечения противотока в данной секции используется термосифонный кипятильник ТК, который позволяет осуществлять циркуляцию жидкости в колонне за счёт различий в плотности. Температура парожидкостного потока, выходящего из ТК, измеряется температурным датчиком.

Из нижней части колонны К-1 жидкость, находящаяся в избытке, отводится насосом Н-3 через холодильник Х во второй отсек сырьевой емкости Е-1. Трубопровод, по которому осуществляется откачка жидкости из нижней части колонны К-1 в емкость Е-1, оснащен датчиками температуры и расхода.

Разделение потоков исходных материалов, поступающих на вход, и продуктов, выходящих из колонны К-1, играет ключевую роль в обеспечении стабильного функционирования промышленной установки, что помогает избежать частых колебаний в составе сырья. Как только уровень вещества в первом отсеке резервуара Е-1 снижается до минимального предела, осуществляется переключение работы насоса Н-1 на второй отсек, в то время как полученные продукты перекачиваются в опороженный отсек.

### **Заключение**

Предложенный стенд позволяет исследовать влияние различных параметров, таких как давление, температура и состав рабочего материала, на эффективность насадок при выполнении их основных функций. С его помощью можно проводить испытания различных моделей перекрестно точных насадок, сравнивая их характеристики и выявляя наилучшие варианты для конкретных производственных условий. Это может быть особенно полезно для промышленных предприятий, которые стремятся оптимизировать свои процессы и сократить затраты. К тому же, наличие такого оборудования дает возможность разработать и внедрить новые технологии, улучшая как производительность, так и качество конечного продукта.

Таким образом, назначение промышленного стенда выходит за рамки простого тестирования. Он также служит мощным инструментом для научных исследований и разработки новых методов обработки материалов. Это создает фундамент для инноваций и повышает конкурентоспособность производителей на рынке.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Богатых, К.Ф. Динамическая модель работы атмосферного блока установок АТ и АВТ / К.Ф. Богатых, А.Б. Боков, В.В. Пилюгин, В.Ф. Попков // Теория и практика массообменных процессов химической технологии (Марушкинские чтения): Материалы II Междунар. научн. конф. - Изд.-во УГНТУ. - 2001. - С.44-52. ISBN: 5-7831-0418-3 EDN: TOUIVI
2. Богатых, К.Ф. Реконструкция колонного оборудования в процессах ректификации за 1992-2002 годы с заменой тарелок на перекрёстноточную регулярную насадку// Сборник научных трудов "Прикладная синергетика и проблемы безопасности", -Уфа: ГУП "Уфимский полиграфкомбинат". - 2003. ISBN: 5-85051-304-3 EDN: ULHTLV
3. Авторское свидетельство № 1171076 А1 СССР, МПК В01J 19/30. Способ изготовления пакета регулярной насадки: № 3603331: заявл. 10.06.1983: опубл. 07.08.1985 / К. Ф. Богатых, В. Л. Долматов, Б. К. Марушкин [и др.]; заявитель Уфимский Нефтяной Институт. EDN: LPDJVJ
4. Чуракова, С. К. Разработка энергосберегающих технологий нефтегазопереработки на основе перекрестноточных насадочных контактных устройств : диссертация на соискание ученой степени доктора наук / Чуракова Светлана Константиновна, 2014. - 560 с. - EDN LAOIRL.
5. Кравченко, А. К. Повышение эффективности работы колонны первичной переработки нефти за счет применения перекрестноточной насадки / А. К. Кравченко, Т. А. Отряскина // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 40-43. – EDN CYANZJ.

УДК 620.178

Люхо Илья Андреевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Lyukho Ilya Andreevich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University  
Федулов Егор Александрович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Fedulov Egor Aleksandrovich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University  
Шакирова Ольга Григорьевна, доктор химических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Shakirova Olga, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЁРДОСТИ КОКСА В ЗМЕЕВИКЕ ПЕЧИ STUDY OF COKE HARDNESS IN THE COIL OF THE FURNACE**

Аннотация. В данной работе рассматривается изменение твердости нефтяного кокса, образующегося в змеевике печи установки замедленного коксования, в зависимости от его толщины. Коксовые отложения разделили на 3 группы: более 10 мм, от 7 до 10 мм, менее 7 мм. Твердость образцов по шкале Шора (Shore D) измеряли двумя способами (ASTM D2240): послойно через 1 мм или на боковом спиле. Полученные результаты показали, что твердость кокса увеличивается от края рыхлой поверхности вглубь до определенного максимума, а затем снижается к стенке трубы. Максимальная твердость кокса варьировалась от 65 до 75 единиц по методу Шора в зависимости от типа образца.

Abstract. The study examines the change in the hardness of petroleum coke formed in the coil of the furnace of a delayed coking plant, depending on its thickness. Coke deposits were divided into 3 groups: more than 10 mm, from 7 to 10 mm, less than 7 mm. The hardness of the

samples on the Shore D scale (ASTM D2240) was measured in two ways: in layers through 1 mm or on a side cut. The results showed that the hardness of coke increases from the edge of the loose surface deep into a certain maximum, and then decreases towards the pipe wall. The maximum hardness of coke varied from 65 to 75 units according to the Shore method, depending on the type of sample.

Ключевые слова: змеевик печи замедленного коксования, кокс, твердость.

Key words: coil of the delayed coking furnace, coke, hardness

### Введение

В змеевике печи установки замедленного коксования (УЗК) из углеводородов образуются коксовые отложения, из-за которых снижается стабильность работы оборудования. А именно, уменьшается пропускная способность труб (повышается гидравлическое сопротивление), снижается теплопередача и равномерность прогрева сырья, увеличивается риск аварийных ситуаций, в результате чего возникает необходимость частых остановок установки для чистки [1].

Для минимизации образования кокса важно изучить его механические свойства, такие как твердость, которая меняется по глубине коксового слоя, из-за послойного уплотнения [2]. Целью данной работы является исследование изменения твердости кокса по глубине отложений с использованием экспериментальных данных и математической аппроксимации.

### Основная часть

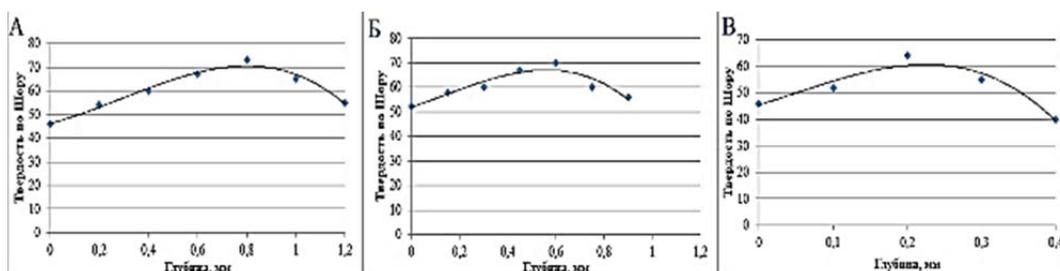
В работе исследовались отложения кокса, образовавшиеся в трубе змеевика печи пиролиза (Рисунок 1).

Для исследования были отобраны пробы кокса из различных участков отложений, которые были сортированы на 3 вида по толщине: толстые (более 10 мм), средние (7–10 мм) и тонкие (менее 7 мм). Измерение твердости этих образцов производили методом Shore двумя способами [3].

Первый метод заключался в измерении твердости боковых спилов указанных видов образцов (Рисунок 2).



Рисунок 1 – Образование кокса в трубе змеевика



А – Толстый образец; Б – Средний образец; В – Тонкий образец

Рисунок 2 – Исследование твердости вглубь среза

Было установлено, что разброс значений твёрдости кокса у поверхности, контактирующей с газом, составляла 45–52 единицы по методу Шора D. По мере углубления наблюдалось увеличение твёрдости до максимальных значений, варьирующихся от 65 до 75 единиц в зависимости от толщины образца. Наиболее высокие значения твёрдости были зафиксированы для толстых образцов (до 77 единиц), что указывает на уплотнение структуры кокса в глубине.

Исследование твердости кокса вторым способом заключалась в измерении твердости вглубь с шагом 1 мм, слои кокса снимались посредством спила (Рисунок 3).

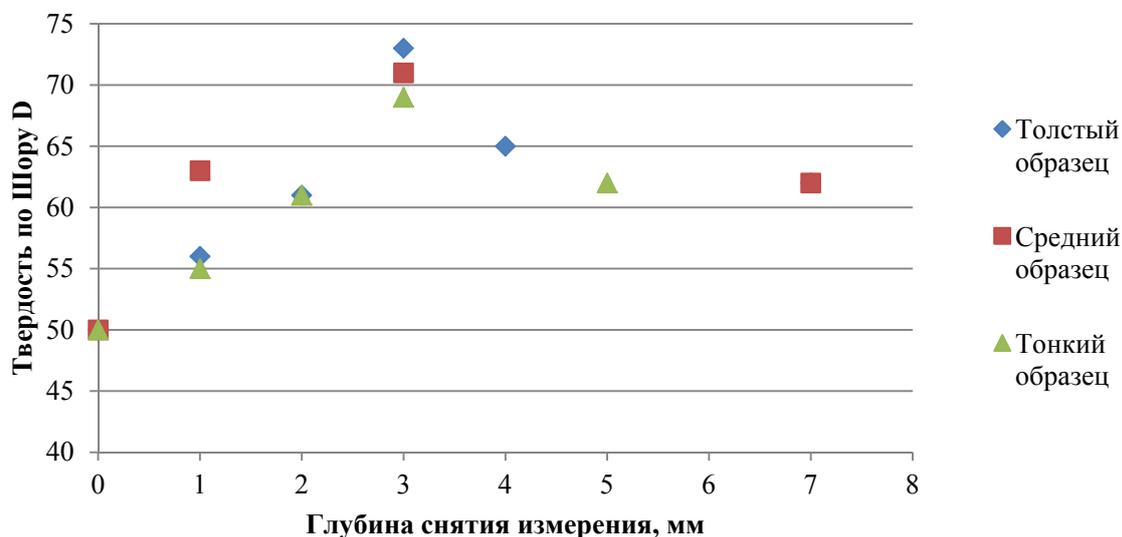


Рисунок 2 – Исследование твердости посредством послойного спила

### Заключение

В обоих случаях наблюдается тенденция увеличения твердости кокса от поверхности вглубь, что связано с уплотнением структуры кокса по мере отложения. На начальных этапах отложения формируется рыхлый кокс, который под давлением от новообразовавшегося кокса уплотняется, тем самым становясь плотнее и тверже. Максимальная твердость кокса достигается на отметке ~50 % глубины для тонких образцов, ~60 % для средних образцов и ~70 % для толстых образцов, это различие можно объяснить различным временем остывания образцов. Снижение твердости кокса при приближении к стенке трубы может быть связано с несколькими факторами. Постоянное воздействие высокой температуры приводит к разрушению структуры кокса, разуплотнению и снижению твердости [4, 5]. При охлаждении змеевика из-за сильных термических градиентов кокс также может подвергаться деформации. Из-за большего коэффициента термического расширения металл расширяется быстрее кокса, в результате чего происходит отслаивание и локальное снижение микротвердости.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Федулов, Е. А. Очистка змеевиков печи установки замедленного коксования: способы и инновации / Е. А. Федулов, О. Г. Шакирова // Современные технологии, материалы и техника : сборник научных статей Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 20 декабря 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2023. – С. 502-509. – DOI 10.47581/2023.TM-04.Fedulov-Shakirova-01. – EDN DVJFCF.
2. Закирничная, М. М. Изменение структуры и свойств металла труб змеевиков печей пиролиза в процессе эксплуатации / М. М. Закирничная, А. Т. Чиркова, И. Р. Кузеев // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1998. – № 2. – С. 87-92. – EDN SFYYET.

3. ГОСТ 24621-2015 «Пластмассы и эбонит. Определение твёрдости при вдавливании с помощью дюрометра (твёрдость по Шору)».
4. Нефтяной кокс для алюминиевой промышленности. Технология и свойства / В. П. Твердохлебов, С. А. Храменко, Ф. А. Бурюкин [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. – 2010. – Т. 3, № 4. – С. 369-386. – EDN NEUSXV.
5. Комплексное исследование структуры промышленных полукоков / Н. С. Захаров, С. А. Созинов, А. Н. Попова, З. Р. Исмагилов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2023. – Т. 31, № 5. – С. 502-508. – DOI 10.15372/KhUR2023494. – EDN CPZVSY.

УДК 66.05

Мазанко Андрей Владиславович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Mazanko Andrey Vladislavovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Комарова Татьяна Викторовна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Komarova Tatiana Viktorovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Федулов Егор Александрович, главный технолог, ООО «РН-Комсомольский НПЗ»

Fedulov Egor Aleksandrovich, Chief Technologist, LLC «RN-Komsomolsk Refinery»

### **ВАРИАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОЦЕССА ИЗОМЕРИЗАЦИИ ФРАКЦИИ НК-100**

### **VARIATIONS OF THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF THE ISOMERIZATION PROCESS OF NK-100 FRACTION**

Аннотация. В работе рассматриваются методы для осуществления процесса непрерывной изомеризации пентанов, гексанов и их смеси на стационарном слое катализатора изомеризации. Реакции протекают при температурах от 125 °С до 150 °С в водородной среде на неподвижном слое катализатора и в условиях, которые благоприятствуют изомеризации. Схема «деизопентанизатор / реакторный блок / деизогексанизатор» обеспечивает стабильную работу установки при изменении в широком диапазоне углеводородного состава поступающего сырья и гарантирует наиболее высокое значение октанового числа по сравнению с иными вариациями технологических схем.

Abstract. This article reviews methods for carrying out the process of continuous isomerization of pentanes, hexanes and mixtures of them on a stationary isomerization catalyst bed. The reactions are conducted at temperatures from 125 °C to 150 °C in a hydrogen environment on a fixed catalyst bed and under conditions that favor isomerization. The “deisopentimizer / reactor unit / deizoheximizer” scheme ensures stable operation of the installation when the hydrocarbon composition of the incoming raw materials changes over a wide range and guarantees the highest octane value compared to other variations of technological schemes.

Ключевые слова: деизопентанизатор, деизогексанизатор, изомеризат, рецикл, флегма, кубовый продукт, колонна.

Key words: deisopentimizer, deizoheximizer, isomerizate, recycle, phlegm, cube product, column.

#### **Введение**

На настоящий момент в зависимости от углеводородного состава сырьевой фракции установок изомеризации применяются различные технологические схемы проведения процесса изомеризации фракций  $C_5$ - $C_6$ , однако, вследствие непостоянства углеводородного состава поступающей на переработку сырой нефти, могут наблюдаться отклонения от заданного качества получаемой продукции. С целью обеспечения гибкости технологического процесса разработаны вариации технологических схем,

позволяющие сохранять качество выпускаемой продукции при колебании углеводородного состава поступающей на переработку сырьевой фракции.

Цель работы: изучение различных технологических схем проведения процесса изомеризации фракции НК-100 [1-4] с целью определения метода, позволяющего выпускать компонент товарных автобензинов с максимально возможной стойкостью товарного топлива к детонации.

Степень проработанности: при помощи фигурных блоков визуализированы упрощённые технологические схемы проведения процесса изомеризации фракции НК-100.

### Основная часть

Основными частями установок изомеризации являются: уравнительная ёмкость сырья, аппарат сероочистки, аппарат очистки газа, адсорбционные осушители сырья, адсорбционные осушители подпиточного газа (с применением адсорбентов, направленных на поглощение микровлаги из потока), реакционное оборудование и теплообменное оборудование, компрессорный агрегат, колонна стабилизации газопродуктовой смеси, скруббер балансового газа, компрессор рециркулирующего газа и соответствующее оборудование.

Включение в схему колонны деизопентанизации (ДИП). Если сырьё, поступающее на установку, имеет очень высокое содержание изопентанов (25-30 % масс. и более), то целесообразно предусмотреть проектом предварительную подготовку прямогонной сырьевой фракции НК-100 путём использования в этих целях колонны деизопентанизации перед реакторным блоком. Колонная деизопентанизации представляет собой аппарат колонного типа с внутренними контактными устройствами, количество и конструктивные особенности которых обеспечивают требуемую степень извлечения изопентанов из прямогонной фракции.

Если при высоком содержании изомерных компонентов сырьё сразу направлять в реакторный блок (РБ), то, в силу особенностей проведения процесса изомеризации и селективной особенностью катализатора, углеводороды изомерного строения не будут подвержены конверсии и будут являться «балластом», что вызовет нерациональное использование мощностей установки. Балансовое количество извлечённых компонентов изомерного строения направляется на смешение с изомеризатом (продуктом реакторного блока изомеризации). Таким образом, продуктовым изомеризатом в приведённой технологической схеме является объединённый поток верхнего продукта колонны деизопентанизации и кубового продукта колонны стабилизации (рисунок 1).

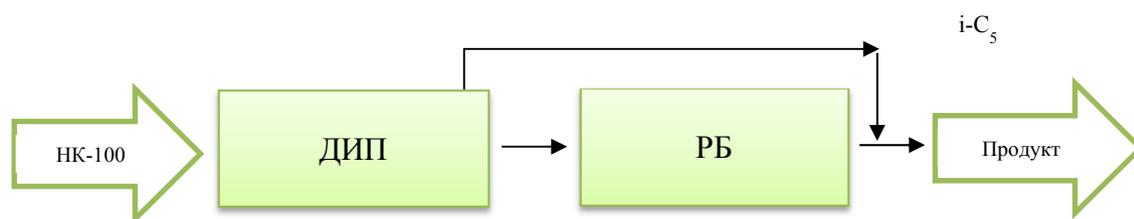


Рисунок 1 - Технологическая схема процесса «деизопентанизатор / реакторный блок»

Включение в схему колонны деизогексанизации (ДИГ). Если сырьё, поступающее на установку, имеет высокое суммарное содержание углеводородов гексанового ряда и выше, то целесообразно предусмотреть проектом извлечение непрореагировавших или прореагировавших не в полной мере углеводородов из продуктов реакторного блока с последующим вовлечением отделённых компонентов в сырьевую фракцию (рисунок 2). Колонна деизогексанизации представляет собой аппарат колонного типа с внутренними контактными устройствами, количество и конструктивные особенности которых обеспечивают выделение из изомеризата неразветвленных или малоразветв-

лённых низкооктановых компонентов. Типовое значение октанового числа для представленного метода находится в пределах 87-89 по исследовательскому методу (и.м.).

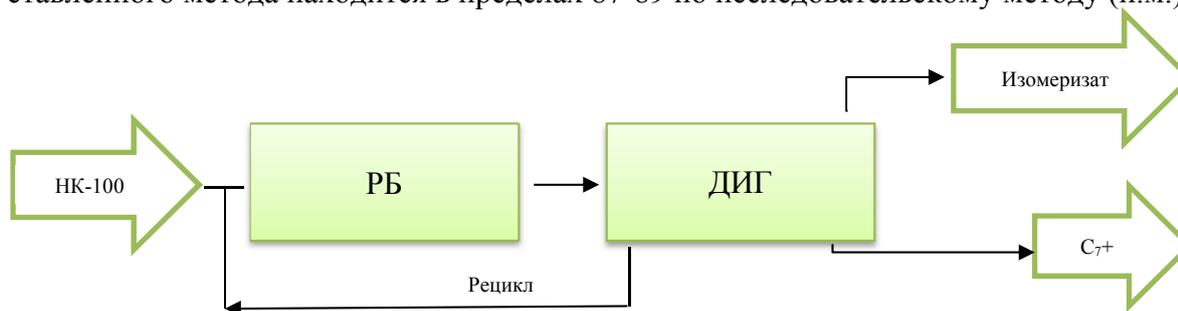


Рисунок 2 - Технологическая схема процесса «реакторный блок / деизогексанизатор»

Применение комбинированной схемы ДИП/РБ/ДИГ (рисунок 3). Если сырьё, поступающее на установку, характеризуется широким или непостоянным фракционным составом, то получение качественного высокооктанового компонента товарных автобензинов будет обеспечиваться при одновременном применении колонны деизопентанизации и колонны деизогексанизации. Комбинированная технологическая схема обеспечивает стабильность качества получаемого продукта при изменении углеводородного состава сырья в широком диапазоне (30 – 100 °С), что позволяет избавиться от «балласта» при переработке лёгкого сырья и вернуть на повторную конверсию углеводороды, не подвергшиеся изомеризации.

Типовое значение октанового числа изомеризата находится в пределах 90-92 по и.м.

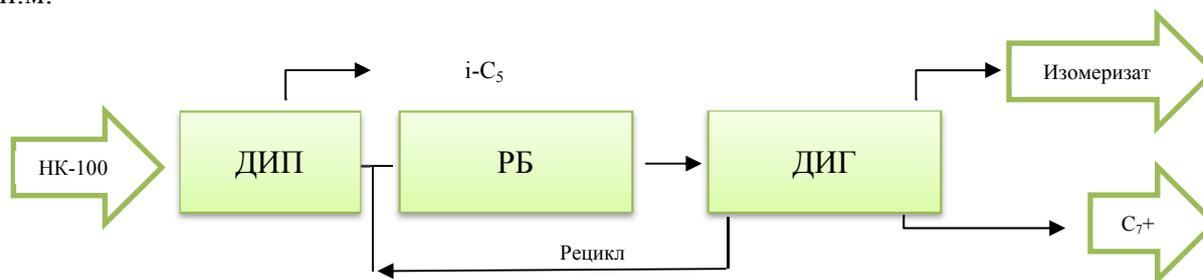


Рисунок 3 - Технологическая схема процесса «ДИП / РБ / ДИГ»

### Заключение

Осуществлять выбор реализации конкретной схемы процесса изомеризации стоит, основываясь на таких характеристиках сырьевой фракции, как: фракционный состав и углеводородный состав, а также возможным изменением качества перерабатываемой сырьевой фракции в будущем. Стоит отметить, схема ДИП/РБ/ДИГ обеспечивает стабильную работу установки при изменении в широком диапазоне углеводородного состава поступающего сырья и гарантирует наиболее высокое значение октанового числа по сравнению с иными вариациями технологических схем.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Турукалов, М. Полная изомеризация. Проекты и перспективы внедрения процессов изомеризации легкой нефти в российской отрасли / М. Турукалов // Нефтегазовая вертикаль. – 2008. – № 16. – С. 22-28. – EDN JVAFFJ.
2. Тамазян, Д. В. Совершенствование технологии процесса изомеризации / Д. В. Тамазян, А. Л. Савченков // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе : Материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов, посвященной 10-летию создания Института промышленных технологий и ин-

жиниринга, Тюмень, 19 декабря 2018 года / Ответственный редактор А. Н. Халин. Том II. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 240-244. – EDN ZCBKAP.

3. Мусин, А. А. Совершенствование процесса изомеризации пентан-гексановой фракции / А. А. Мусин, Р. Г. Хасанов // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – 2022. Передовые технологии и современные тенденции : Материалы Международной научно-методической конференции, Салават, 21–22 апреля 2022 года. – Салават: УНПЦ «Издательство УГНТУ», 2022. – С. 130-132. – EDN MQMMDW.

4. Слушаев, А. И. Анализ установки изомеризации пентан-гексановой фракций / А. И. Слушаев, Е. М. Цветов, Ю. Л. Зотов // Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях, Тамбов, 30 апреля 2014 года. Том Часть 6. – Тамбов: ООО "Консалтинговая компания Юком", 2014. – С. 130-131. – EDN SUHNUL.

УДК 547.458.61

Подшивалова Ирина Михайловна, студентка, Ивановский государственный химико-технологический университет

Podshivalova Irina Mikhailovna, student, Ivanovo State University of Chemistry and Technology

Лосев Николай Владимирович, кандидат химических наук, научный сотрудник, Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук

Losev Nikolay Vladimirovich, Candidate of Chemical Sciences, researcher, Institute of Solution Chemistry named after G.A. Krestov of the Russian Academy of Sciences

Трифонова Ирина Павловна, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Химии и технологии высокомолекулярных соединений», Ивановский государственный химико-технологический университет

Trifonova Irina Pavlovna, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry and Technology of Macromolecular Compounds, Ivanovo State University of Chemistry and Technology

Бурмистров Владимир Александрович, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры «Химии и технологии высокомолекулярных соединений», Ивановский государственный химико-технологический университет

Burmistrov Vladimir Aleksandrovich, Doctor of Chemistry, Professor, Professor of the Department of Chemistry and Technology of Macromolecular Compounds, Ivanovo State University of Chemistry and Technology

## **МЕХАНОАКТИВАЦИЯ КАК СПОСОБ АМОРФИЗАЦИИ КУКУРУЗНОГО КРАХМАЛА**

## **MECHANOACTIVATION AS A METHOD OF AMORPHIZING CORN STARCH**

Аннотация. Дисперсии кукурузного крахмала, содержащие глицерин, были обработаны в роторно-импульсном аппарате. Конструктивные особенности аппарата позволяют создавать в жидкофазных системах высокие напряжения сдвига, приводят к возникновению турбулентности и гидродинамической кавитации. Все эти факторы в разной мере способствуют механической модификации крахмала. Установлено, что вне зависимости от последовательности стадий смешения крахмальных дисперсий с глицерином и механоактивации образцы крахмала демонстрируют увеличение доли аморфной фазы.

Abstract. Corn starch dispersions containing glycerol were processed in a rotary-pulse apparatus. The design features of the apparatus allow high shear stresses to be created in liquid-phase systems, leading to turbulence and hydrodynamic cavitation. All these factors contrib-

ute to varying degrees to the mechanical modification of starch. It was found that, regardless of the sequence of stages of mixing starch dispersions with glycerol and mechanical activation, starch samples demonstrate an increase in the proportion of the amorphous phase.

Ключевые слова: крахмал, механохимия, аморфизация, кристалличность.

Key words: starch, mechanochemistry, amorphization, crystallinity.

Биоразлагаемыми полимерами называют полимеры, которые способны разлагаться в процессе бактериального воздействия с выделением побочных продуктов, таких как вода, газы, например,  $\text{CO}_2$  [1]. Такие полимеры могут встречаться в природе и быть получены в процессе синтеза.

Крахмал – это природный полимер из группы полисахаридов, широко распространенных в природе. Главными источниками крахмала являются растения: кукуруза, картофель, рис, тапиока, бобовые. Различают крахмал нативный, т.е. полученный прямой переработкой крахмалсодержащего сырья, и модифицированный. Модификация за счет воздействия биологических, химических или физических факторов позволяет получить у крахмала новые функциональные свойства [2].

Главным сырьевым ресурсом для выработки крахмала служит кукуруза, на ее долю приходится 80% мирового производства крахмала. Кукурузный крахмал в основном используется в пищевых целях, а с последующей модификацией его можно применять в других отраслях промышленности, в том числе для создания полимерных композиционных материалов.

Двумя основными недостатками, мешающими более широкому использованию крахмала в качестве термопласта, являются чувствительность его механических свойств к колебаниям содержания воды и его старение в результате кристаллизации, известное как ретроградация. У природного нативного крахмала степень кристалличности зависит от его происхождения и составляет 15–45% [3]. Процесс пластификации превращает полукристаллические гранулы в однородный, довольно аморфный материал за счет разрушения водородных связей между молекулами крахмала и синхронного образования новых связей между молекулами пластификатора и крахмала. Глицерин является наиболее часто используемым пластификатором крахмала.

Модификация крахмала путем введения пластификатора и получения термопластичного крахмала улучшает его совместимость с термопластичным синтетическим полиэфиром [4]. Термопластичный крахмал нашел применение для производства изделий, в которых биоразлагаемость является ключевым фактором, включая упаковочную промышленность, одноразовые изделия для гигиенических и санитарных целей и т.д.

Механическая модификация водных дисперсий в роторно-импульсных аппаратах РИА осуществляется за счет сочетания высокого напряжения сдвига, гидродинамической кавитации и турбулентности, приводящим к массообмену на микроуровне [5]. РИА состоит из соосно расположенных вращающегося ротора и неподвижного статора, выполненных в виде цилиндров с каналами (отверстиями) и расположенных в корпусе. Во внутренней полости ротора установлены дополнительные лопасти для увеличения собственного насосного эффекта аппарата и предварительного измельчения грубодисперсных фракций. Средний зазор между вращающейся и неподвижной частями составляет 0,3 мм. Скорость вращения достигала 5000 об/мин, что соответствует градиенту скорости сдвига  $1,74 \times 10^5 \text{ с}^{-1}$ .

Механоактивации подвергали суспензию кукурузного крахмала в воде. Способ совмещения крахмала и количество глицерина (30% от массы крахмала) выбирались на основе предыдущих опытов. Влияние данного способа активации на свойства образцов, полученных сушкой на воздухе в течение 48ч при комнатной температуре, представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние условий обработки на свойства крахмала.

№	Композиция	Внешний вид образцов	Степень кристалличности, %
1	Исходный крахмал	Мягкий рассыпчатый продукт	40,9
2	Исходная суспензия крахмала, активированная в РИА 20 с. без глицерина	Жесткие частицы, поддающиеся измельчению перетиранием	36,3
3	Исходная суспензия крахмала, активированная в РИА 20с. Механическое перемешивание с глицерином 10 мин.	Жесткие частицы, поддающиеся измельчению перетиранием	34,8
4	Исходная суспензия крахмала неактивированная. Механическое перемешивание с глицерином 10 мин. Совместная активация 20 с.	Мягкий рассыпчатый продукт	36,1

Полученные порошкообразные образцы крахмала были исследованы методом рентгеноструктурного анализа. Эксперимент выполнен на рентгеновском дифрактометре «Bruker D2 PHASER». Методом рентгеновской дифракции была определена степень кристалличности, а также выявлена кристаллическая структура пластифицированных крахмалов. Кристаллический пик выделялся из рентгеновской картины (рисунок1) путем вычитания аморфного галло.

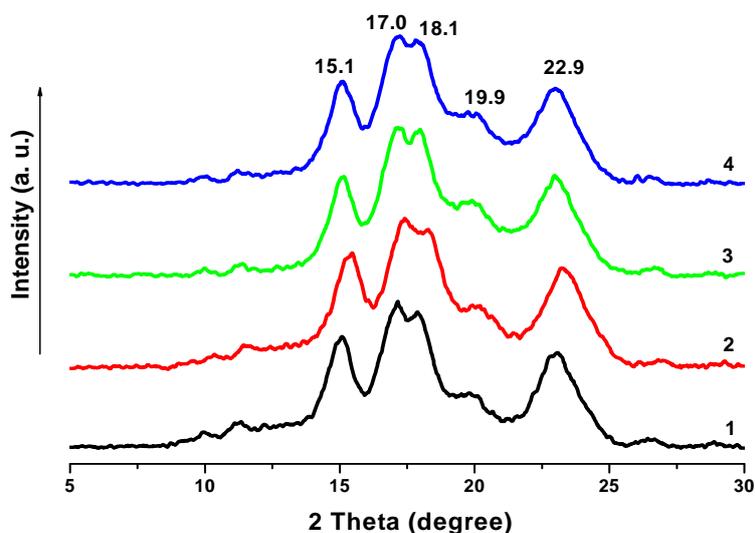


Рисунок 1 – Дифрактограммы крахмальных порошков:

1 – исходный крахмал, 2 – образец № 2, 3 – образец № 3, 4 – образец № 4

Дифрактограммы как исходного кукурузного крахмала, так и подвергнутого механоактивации демонстрируют рефлексы, которые практически полностью соответствуют кристаллической структуре А-типа. Механоактивация не приводит к изменениям кристаллической структуры крахмала, но заметно уменьшает кристалличность образцов (табл.). Увеличение доли аморфной фазы в крахмале делает его более пластичным, что должно способствовать лучшей совместимости с термопластичной полимерной матрицей.

#### **Благодарности**

Работа выполнена в рамках госконтракта тема № FZZW-2023-0009.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ahmed T., Shahid M., Azeem F., Rasul I., Shah A.A., Noman M., Hameed A., Manzoor N., Manzoor I., Muhammad S. Biodegradation of plastics: current scenario and future prospects for environmental safety // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2018. – V. 25. – P. 7287–7298. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1234-9>
2. Gilet A., Quettier C., Wiatz V., Bricout H., Ferreira M., Rousseau C., Monflier E., Tilloy S. Unconventional media and technologies for starch etherification and esterification // Green Chem. – 2018. – V.20. – P.1152–1168. DOI<https://doi.org/10.1039/C7GC03135A>
3. Siddiqui, N., Asawa, S., Birru, B. et al. PCL-Based Composite Scaffold Matrices for Tissue Engineering Applications. Mol Biotechnol. – 2018. – V. 60. – P. 506–532. <https://doi.org/10.1007/s12033-018-0084-5>
4. Avérous L. Biodegradable Multiphase Systems Based on Plasticized Starch: A Review // Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews. – 2004. – V. 44. – Iss. 3. – P. 231-274. <https://doi.org/10.1081/MC-200029326>
5. Zhang J., Xu S., Li W. High shear mixers: a review of typical applications and studies on power draw, flow pattern, energy dissipation and transfer properties. // Chem. Eng. Process. – 2012. – V. 57–58. – P. 25–41. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2012.04.004>

УДК 66-5

Понимасов Дмитрий Павлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ponimasov Dmitry Pavlovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Кулик Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kulik Alexander Anatolievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА ВВОДА СЫРЬЯ В РЕАКТОРА P-101A/B MODERNIZATION OF THE RAW MATERIAL INJECTION DEVICE IN THE DC-101A/B REACTOR**

Аннотация. Статья посвящена модернизации конструктивного и функционального исполнения реакторов замедленного коксования - коксовых камер, за счет внедрения устройства центрального ввода сырья, способствующих повышению надежности. Предложен способ ввода сырья в реакторы P-101A/B за счет монтажа устройства центрального ввода, что позволяет избавиться от постоянной деформации корпуса и юбки коксовой камеры по изогнутой траектории в области наибольшего температурного влияния за счет направления потока сырья по оси камеры.

Abstract. The article is devoted to the modernization of the design and functional performance of delayed coking reactors - coke chambers, due to the introduction of a central feedstock input device, which contributes to an increase in the reliability. A method for introducing raw materials into DC 101A/B reactors is proposed by mounting a central input device, which allows to get rid of the constant deformation of the casing and skirt of the coke chamber along a curved trajectory in the area of the greatest temperature influence due to the direction of the flow of raw materials along the axis of the chamber.

Ключевые слова: реактор замедленного коксования, коксовые камеры, устройство центрального ввода сырья, надежность, межремонтный период.

Key words: delayed coking reactor, coke chambers, central feedstock input device, reliability, period between repairs.

## **Введение**

Установка замедленного коксования (УЗК) на нефтеперерабатывающем предприятии ООО «РН-Комсомольский НПЗ» предназначена для переработки тяжёлых нефтяных остатков (прямогонный гудрон) в более лёгкие газообразные, жидкие продукты и суммарный нефтяной кокс (сырой кокс) [1]. Кроме того, на установке предусмотрена возможность переработки и очистки смесового неочищенного сжиженного углеводородного газа, поступающего с установок ЭЛОУ-АВТ-2, ЭЛОУ-АВТ-3, ГОДТ. Работа блока переработки и очистки смесового неочищенного сжиженного газа может осуществляться как при работе установки в режиме переработки гудрона, так и отдельно. Объект введен в эксплуатацию в 2012 году.

УЗК рассчитана на переработку 1 млн. т/год прямогонного гудрона, поступающего с установок ЭЛОУ-АВТ-2 и ЭЛОУ-АВТ-3 и очистку от сероводорода смесового неочищенного сжиженного углеводородного газа. Режим работы непрерывный в течение 8000 часов в год. Оборудование, системы контроля и управления рассчитаны на стабильную работу в пределах 50-110 % от номинальной производительности установки. Существующий межремонтный пробег УЗК составляет 2 года.

Опыт эксплуатации с 2012 г по настоящее время (2024 г) выявил производственную необходимость в технологических остановах с периодом в 2 года между ремонтными остановами, таким образом, установка останавливается каждый год. В таких условиях особо актуален вопрос увеличения основного межремонтного периода. Увеличение межремонтного периода – это процесс продления времени между плановыми ремонтами оборудования, направленный на повышение эффективности работы, снижение затрат на ремонт и улучшение качества продукции.

Увеличение межремонтного периода установок нефтепереработки предоставляет ряд преимуществ:

- снизить затраты в связи с устранением издержек, связанных с процедурами останова и пуска установки при проведении капитальных ремонтов (сырье на некондиционный продукт, энергоресурсы);
- увеличить объемы выпускаемой продукции за трехлетний период;
- снизить расходные нормы за счет сокращения времени простоя оборудования в период проведения капитального ремонта.

Переход УЗК на увеличенный трехлетний межремонтный пробег позволит максимально эффективно выполнить план производственной программы предприятия, а также сократить затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования.

Цель: для обеспечения перехода на трехлетний межремонтный период необходимо разработать мероприятия, касающиеся увеличения общей надежности критически важных элементов оборудования установки.

Одними из критически важных элементов являются реактора замедленного коксования – коксовые камеры [2], применяемые в двух экземплярах.

Коксовая камера предназначена для получения кокса из тяжёлых нефтяных остатков при высоких температурах. В косовой камере происходит крекинг горячего сырья с образованием кокса и продуктов крекинга. Объём одной камеры рассчитан на заполнение произведенным за сутки коксом до безопасного рабочего уровня.

Для повышения общей надежности коксовых камер необходимо поставить следующие задачи:

- Проанализировать и выявить возможные недостатки имеющегося оборудования;
- Назначить мероприятие - техническое решение, способное повысить надежность оборудования;
- Оценить решение как фактор повышения надежности (насколько оно способно увеличить период безотказной работы, уменьшить вероятность появления дефектов?);

- Назначить перечень мероприятий, обеспечивающих оснащение объектом технического решения;

### Основная часть

Процесс коксования в коксовых камерах является полупериодическим и состоит из двух операций:

- первая операция – рабочий цикл – работа коксовой камеры в режиме заполнения (коксования) в течение 24 часов;

- вторая операция – работа коксовой камеры в режиме декоксования в течение 24 часов.

При работе одной коксовой камеры в режиме коксования, другая находится в режиме декоксования. Таким образом, длительность полного цикла каждой камеры коксования от подачи сырья и до следующей подачи сырья составляет 48 часов. В конце цикла заполнения коксовой камеры в неё впрыскивается антипенная присадка для уменьшения уноса пены в колонну фракционирования.

Каждая коксовая камера представляет собой полый цилиндрический аппарат, на внешней поверхности которого с помощью кронштейнов закреплён теплозащитный кожух. На верхней сферической крышке имеются штуцер для вывода парогазовой фазы, штуцер для ввода гасителя пены и штуцер для подключения предохранительных клапанов. Нижние и верхние крышки коксовых камер Р-101А/В оборудованы автоматическими системами открытия/закрытия люков. Коксовые камеры имеют срок обязательного технического освидетельствования, равный 2 годам.

При эксплуатации камера подвергается значительным температурным колебаниям, обусловленным периодичностью процесса получения и выгрузки кокса. Одним из наиболее подверженных участкам температурным нагрузкам является узел ввода сырья, показанный на рисунке 1.

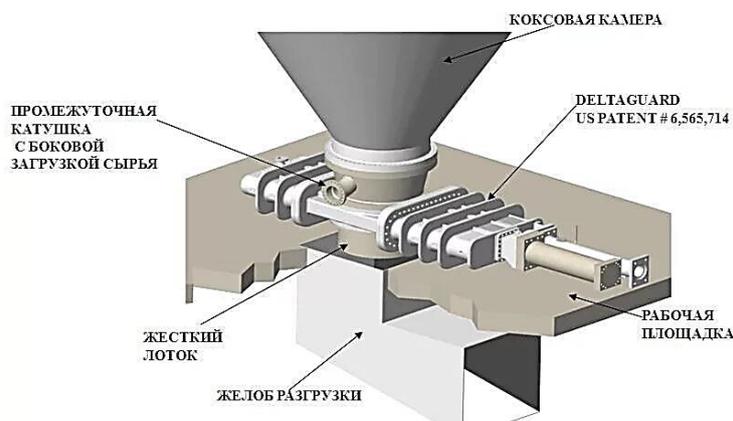


Рисунок 1 – Узел бокового ввода сырья на действующих реакторах

На действующих коксовых камерах Р-101А/В схема подачи сырья организована в катушку под углом к оси камеры. Односторонняя подача сырья в коксовую камеру с направлением потока вверх под углом приводит к неоднородному нагреву корпуса как по диаметру, так и по высоте камеры. Регулярное образование неравномерного температурного поля в корпусе из цикла в цикл приводит к постоянной деформации корпуса и юбки коксовой камеры по изогнутой траектории в области наибольшего нагрева, что является основным фактором дефектообразования.

Данное наблюдение подтверждается дефектной историей эксплуатации реакторов, где 100 % дефектов образуется в нижней половине корпуса камеры, и в большей степени дефекты концентрируются в области поля неоднородного нагрева.

В качестве мероприятия по увеличению надежности предлагается подавать сырье в коксовые камеры Р-101А/В через устройство центрального ввода сырья, патентный номер 2585643 С1 [3], предоставленное на рисунке 2.



Рисунок 2 – Устройство центрального ввода сырья

Устройство центрального ввода сырья позволяет организовать наиболее оптимальную подачу сырья в камеру коксования: выдвижной штуцер направляет поток сырья по оси камеры. Таким образом уменьшается влияние основного фактора дефектообразования - неравномерный нагрев камеры – таким образом снижается тепловая усталость, продлевается период безотказной работы. Данное внедрение может стать обоснованием увеличения периодичности технических освидетельствований коксовых камер до 3-х лет при согласовании с Федеральными надзорными органами.

Под оснащением коксовых камер Р-101А/В устройством центрального ввода сырья предполагается следующее:

- приобретение устройства и комплекта поставки;
- дооборудование коксовых камер Р-101А/В катушкой с перпендикулярным штуцером для устройства центрального ввода сырья;
- монтаж устройства центрального ввода сырья;
- обвязка устройства центрального ввода сырья трубопроводами подачи водяного пара и отвода конденсата (для исключения закоксовывания корпуса и крышки), монтаж изоляции трубопроводов обвязки;
- демонтаж и монтаж нижних люков коксовых камер для исключения их повреждения во время проведения объемной термообработки;
- монтаж подстанции, электропотребителем которой будет являться привод устройства центрального ввода сырья.

Дальнейшие мероприятия по реализации плана внедрения будут заключаться в:

- Оценке затрат, необходимых на реализацию приведенных мероприятий.
- Оценке окупаемости затрат за счет полученного экономического эффекта от реализации плана на образце показателя эффективности работы единицы оборудования.

### **Заключение**

Таким образом, предложенный способ ввода сырья в реакторы Р-101А/В за счет монтажа устройства центрального ввода позволяет избавиться от основного фактора дефектообразования - постоянной деформации корпуса и юбки коксовой камеры по изогнутой траектории в области наибольшего температурного влияния за счет направления потока сырья по оси камеры; и при дальнейшей проработке имеет возможность реализации.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Технологический регламент установки замедленного коксования / Технологического цеха №2 /ТР-2-32-52-2019 / ООО «РН-Комсомольский НПЗ» - ПАО "УКРНЕФТЕХИМПРОЕКТ", 2020 – 167 с.

2. Коксовая камера Р-101А/В (DC-101А/В) – Руководство по эксплуатации / 17.400.00.000 РЭ / ОАО «Дзержинскхиммаш», 2008 г. – 23 с.
3. Модель № 2585643 С1 Российская Федерация, МПК С10В 1/04, С10В 55/00. Система центральной подачи, использующая съемные вставки в выдвигном инжекторном сопле : № 2014148163 : заявл. 30.04.2013 : опубл. 27.05.2016 / ЛАХ Рубен Ф. (US), ЛАРСЕН Гари (US), КРОС Кеннет (US) ; заявитель КЕРТИСС-РАЙТ ФЛОУ КОНТРОЛ КОРПОРЕЙШН – 61 с. : ил. <https://patentdb.ru/patent/2585643>.

УДК 621.791

Поправко Даниил Геннадьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Popravko Daniil Gennadevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Григорьев Владимир Владимирович, кандидат технических наук, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Grigorev Vladimir Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Komsomolsk-na-Amure State University

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В ИНТЕРВАЛАХ  
ПОЛИМОРФНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА  
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT20  
THE EFFECT OF HEAT TREATMENT IN POLYMORPHIC TRANSFORMATION  
INTERVALS ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF WELDED JOINTS OF  
TITANIUM ALLOY VT20**

Аннотация. В данной работе представлены исследования термической обработки в условиях фазового предпревращения сварных соединений титанового сплава VT20, выполненных электронно-лучевой сваркой при температуре 980 °С в интервалах выдержки от 60 до 150 секунд в печи сопротивления. После термической обработки была проведена оценка микроструктуры, микротвердости, проведено испытание на статическое растяжение. Установлено, что с повышением времени выдержки образцов в печи происходит рост предела прочности сварных соединений и равномерное распределение микротвердости по всему сечению образцов, но при этом происходит снижение пластических свойств.

Abstract. In this article, studies were conducted on heat treatment under conditions of phase pre-transformation of welded joints of titanium alloys VT20, performed by electron beam welding at a temperature of 980 °C in holding intervals from 60 to 150 seconds in a resistance furnace. After the heat treatment, the microstructure and microhardness were evaluated, and a static tensile test was performed. It was found that with an increase in the holding time of samples in the furnace, the tensile strength of welded joints increases and the microhardness is evenly distributed over the entire cross section of the samples, but at the same time plastic properties decrease.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, фазовое предпревращение, VT20, предел прочности, относительное удлинение.

Key words: electron beam welding, phase reversal, VT20, tensile strength, elongation.

**Введение**

В наше время, сплавы на титановой основе распространены в большом количестве отраслей – к таким отраслям непосредственно относятся подотрасли самолетостроения и судостроения [1].

Сплавы на основе титана обрели положительные качества и уникальные свойства, им присуща удельная прочность, отвечающая на вызовы в современной промыш-

ленности; титановые сплавы также обладают впечатляющей стойкостью к коррозии и обладают подходящей технологичностью под сегодняшние задачи машиностроительных производств. [2-3].

В наше время, фундаментальным способом при соединении конструкций, выполненных из титановых сплавов, является сварка. Для деталей большой толщины на протяжении уже длительного времени применяется сварка на электронно-лучевой установке в вакууме [4], однако, обязательным этапом для получения качественных деталей/сборочных единиц (ДСЕ) после сварки является термическая обработка, применяемая для снятия внутренних напряжений и нормализации структуры в металле шва и зоне термического влияния [5].

Целью данной работы является установление влияния режимов термической обработки в условиях фазового превращения на структуру и механические свойства сварных соединений из сплава ВТ20, выполненных электронно-лучевой сваркой.

### Основная часть

Для снижения вероятности появления возможных дефектов в виде порообразования при проведении сварочных работ была выполнена подготовка стыкуемых кромок под электронно-лучевую сварку с применением высокопроизводительного фрезерования. Электронно-лучевую сварку образцов из титанового сплава ВТ20 толщиной 30 мм выполняли по режимам завода изготовителя.

После сварки выполнили раскрой сварных соединений для проведения неразрушающего и разрушающего контроля. Толщины полученных образцов после раскроя составляли 2 и 6 мм соответственно.

Для термообработки в условиях фазового превращения использовали электропечь сопротивления Graficabro, по режимам:

- температура нагрева, °С – 980;
- время выдержки, сек – 60, 90, 120, 150.

Термическую обработку сварных соединений выполняли без защитной среды с охлаждением после термической обработки в воде.

После термообработки провели анализ микроструктуры и микротвердости.

При анализе полученных микроструктур получили игольчатую структуру корзинчатого типа в шве, и пластинчатую в основном металле, исходя из рисунков видно, что в интервалах 60-120 секунд выдержки сохраняется игольчатая структура, начинается переход игольчатой структуры в крупноигольчатую в шве на образце выдержки 150 секунд (рисунок 1).



Рисунок 1 – Полученные результаты анализа микроструктуры

По результатам измерения микротвердости в сечении швов установлено, что в исходном состоянии пик микротвердости наблюдается в центре шва и его падение к зоне термического влияния. Среднее значение твердости 360 HV. С увеличением времени выдержки наблюдается рост микротвердости вплоть до 455 HV, однако ее распределение является равномерным по всему сечению образцов (рисунок 2).

Без термической обработки

Выдержка 90 секунд

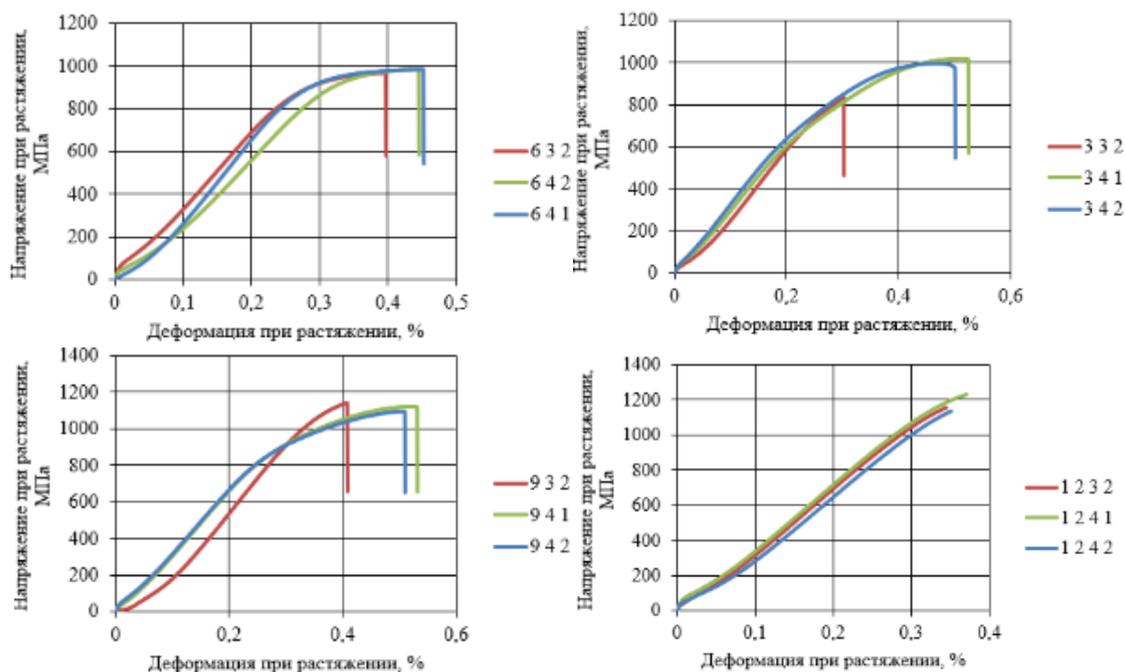
Выдержка 150 секунд



Рисунок 2 - Полученные результаты анализа микротвердости

Получив общий вид результатов испытаний на статическое растяжение (рисунок 3), было выявлено, что при увеличении времени выдержки до 150 секунд, образцы толщиной 6 мм не только преодолели необходимое значение предела прочности в 960 МПа, но и превысили значение в 1200 МПа, однако относительное удлинение является неудовлетворительным. На образцах толщиной 2 мм только 1 образец с временем выдержки в 150 секунд преодолел необходимое значение предела прочности.

а)



б)

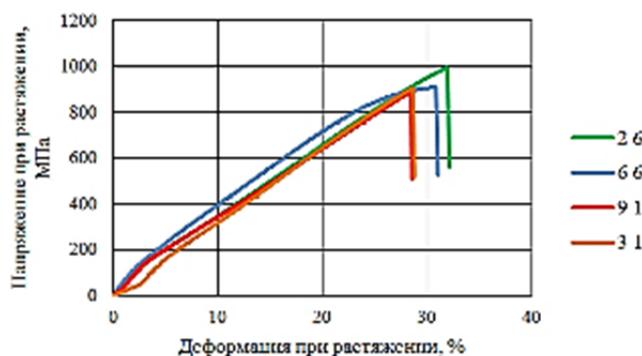


Рисунок 3 – Результаты испытаний на статическое растяжение:  
а – образцы толщиной 6 мм; б – образцы толщиной 2 мм

## **Заключение**

По результатам выполненных исследований выявлено следующее:

- установлено, что с повышением времени выдержки от 90 до 150 секунд при высокоскоростной термообработке в печи сопротивления в сварных титановых образцах, полученных ЭЛС, выдержанный 90 секунд образец еще сохраняет игольчатую структуру, в образцах выдержки 120-150 секунд наблюдается переход структуры металла шва в крупноигольчатую структуру;

- применение термической обработки при температуре 980°C в интервале выдержки 120-150 секунд позволяет получить релаксацию внутренних напряжений и равномерное распределение микротвердости в сварных соединениях;

- по результатам разрушающего контроля сварных соединений установлено, что при увеличении времени выдержки образцов в печи повышается предел прочности вплоть до 1227 МПа, что соответствует требованиям РТМ 1.4.1379-84

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Цвиккер У. Титан и его сплавы. Пер. с нем. – Москва : Металлургия, 1979. – 512 с.
2. Глазунов, С.Г Конструкционные титановые сплавы / С.Г. Глазунов, В.И. Моисеев – Москва : Металлургия, 1974. – 386 с.
3. Чечулин, Б.Б. Титановые сплавы в машиностроении / Б.Б. Чечулин, С.С. Ушков, И.Н. Разуваева – Ленинград : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1977. – 248 с.
4. Саломатова Е.С. Электронно-лучевая сварка – от изобретения до наших дней // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2013. Т. 15. № 1. С. 57-62.
5. Лясоцкая, В. С. Термическая обработка сварных соединений титановых сплавов / В. С. Лясоцкая ; Лясоцкая В.С.; Под ред. Б.А. Колачева. – Москва : Экомет, 2003. – 351 с.

УДК 541.183

Протас Николай Иванович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Protas Nikolay Ivanovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Морозова Татьяна Дмитриевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Morozova Tatiana Dmitrievna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Шакирова Ольга Григорьевна, доктор химических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shakirova Olga Grigorievna, Dr. Sci. Chem., Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ ДЕСОРБЦИИ ЗОЛОТА С УГЛЯ INCREASING THE DEGREE OF GOLD DESORPTION FROM COAL**

Аннотация. В результате работы была выявлена взаимосвязь снижения содержания примесей в воде для отмывки от кислоты и повышения степени десорбции золота с угля. Результаты подтверждаются анализами содержания золота в десорбированном активированном угле (ДАУ) до и после проведенных экспериментов. Показано, что золото в угле снизилось вдвое (с 0,32 до 0,15 мг Au / 1 г ДАУ), а степень десорбции повысилась на 2,7 % (с 94, 7 до 97,4 %). Проведена экономическая оценка предложений. Экономический расчёт показал, что основной экономический эффект будет получен от повышения содержания золота в сплаве Доре, из-за чего снизится стоимость переработки сплава, транспортные расходы и бюджет по заработной плате, расходы предприятия сократятся на 5 миллионов рублей в месяц.

Abstract. As a result of the work, a relationship was found between the reduction of impurity content in water for washing off acid and the increase in the degree of gold desorption from coal. The results are confirmed by the analysis of gold content in desorbed activated carbon (DAC) before and after the experiments. It was shown that gold in coal decreased by half (from 0.32 to 0.15 mg Au / 1 g DAC), and the degree of desorption increased by 2.7 % (from 94.7 to 97.4%). An economic assessment of the proposals was carried out, a full economic calculation showed that the main economic effect will be obtained from increasing the gold content in the Dore alloy, due to which the cost of alloy processing, transportation costs and the wage budget are reduced; the enterprise's expenses are reduced by 5 million rubles per month.

Ключевые слова: активированный уголь, сорбция и десорбция золота.

Key words: activated carbon, sorption and desorption of gold.

### **Введение**

В настоящее время технология сорбционного цианирования с применением активных углей широко распространена и непосредственно связана с эффективными способами десорбции драгоценных металлов. Однако применяемые способы десорбции имеют ряд недостатков, из-за чего в товарный элюат десорбируются не только драгоценные металлы, но и цветные металлы-примеси, которые вызывают загрязнение катодного осадка и снижают благородность сплава Доре. Изучение всех этапов обработки насыщенного угля, помогает выявить имеющиеся проблемы на отдельных этапах и рассмотреть способы их устранения. Например, на Амурском гидromеталлургическом комбинате (АГМК) на участке десорбции выявлена проблема: на десорбированном угле остается относительно высокое содержание золота: 0,3-0,5 мг/г. В то время как целевое содержание должно быть менее 0,1 мг/г. Снижение степени десорбции приводит и к другим отрицательным эффектам в технологическом процессе, например, росту потерь золота с некондиционным углем, повышению содержания Au в хвостах и снижению сорбционной емкости угля [1-4].

### **Основная часть**

Причинами снижения степени десорбции, вероятно, являются примеси, сорбирующиеся на угле. Рассмотрим их виды и причины появления:

1. Высокое содержание кальция в угле. В процессе нейтрализации используются карбонат и гидроксид кальция, которые, в виде кальциевых солей откладывается в порах угля, затрудняя десорбцию. Повышение солей кальция может быть вызвано недостаточной эффективностью кислотной обработки угля.
2. Повышение содержания свободной серы в угле, может быть связано с неполным окислением сульфидов в автоклаве.
3. Образование нерастворимых соединений золота (полимерных соединений золота, цианида золота) возможно связано с повышенным содержанием комплексных соединений железа в процессе и высокой температурой десорбции.
4. Накопление органических соединений (сорбируются углем при использовании различного вида смазочных материалов в процессе).
5. И, наконец, рост содержания цветных металлов, которые накапливаются в процессе сорбционного цианирования и промывки угля.

Были рассмотрены этапы обработки насыщенного угля (НАУ): отмывка от илов, отмывка от цианидов, кислотная обработка, промывка от кислоты и реактивация

Для выявления возможных проблем на этапе кислотной обработки проведены следующие эксперименты:

- Насыщенный уголь был обработан растворами различных реагентов 5%-ной концентрации (соляной, азотной, сульфаминовой кислотами и Трилоном Б). Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты обработки насыщенного угля для удаления солей кальция

Растворы реагентов (5%)	Исходное содержание Са в угле, мг/г	Остаточное содержание Са в угле, мг/г
HCl	55	10
HNO <sub>3</sub>	55	15
NH <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> H	55	7
Трилон Б	55	37
Трилон Б при нагревании	55	25

Наилучший эффект для удаления солей кальция показала сульфаминовая кислота, которая понизила их содержание с 55 до 7 мг/г. Именно сульфаминовая кислота применяется в процессе кислотной обработки насыщенного угля на АГМК. Значит причина повышенного содержания Са в НАУ не в выбранном реагенте.

- Далее была проведена обработка сульфаминовой кислотой в разных режимах: циркуляционном и прямоточном. В первом случае содержание кальция снизилось незначительно: с 55 до 37 мг/г, т.к. концентрация кальция в растворе быстро достигает равновесной и его переход в раствор прекращается. В прямоточном режиме удалось снизить содержание кальция до 7 мг/г. Следовательно, эффективно очистить уголь от солей кальция можно только в прямоточном режиме.

Для того, чтобы оценить качество отмывки НАУ от кислоты был проанализирован уголь до и после отмывки. Результаты удивили – уголь после отмывки содержал большее содержание металлов, чем перед отмывкой (таблица 2)

Таблица 2 – Влияние отмывки НАУ от кислоты на содержание металлов в угле

Период	Содержание металлов в НАУ, мг/г		
	Cu	Ca	Fe
До отмывки	0	15	7
После отмывки	4	35	11

- Чтобы разобраться в причинах этого явления был проведен анализ воды, которую применяют на предприятии для отмывки угля от кислоты. Результаты анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Анализ воды, используемой в процессе отмывки НАУ от кислоты

Содержание металлов в воде, мг/л		
Fe	Cu	Ca
8	115	500

Результаты исследования помогли выяснить причину повышенного содержания металлов в насыщенном угле и устранить её. Было решено проводить промывку угля от элюата после десорбции, что позволяет повысить эффективность реактивации и сорбционной способности угля, и снижает потери Au с угольной мелочью. Также это приводит к снижению содержания меди в насыщенном угле в 10 раз и, впоследствии, к снижению её содержания в сплаве Доре, то есть повышению благородности сплава.

### Заключение

Исследование процесса реактивации помогло определить причину недостаточной эффективности этого процесса на заводе. Это стало возможным благодаря сравнению процессов реактивации в лабораторных и заводских условиях. Было установлено, что в лабораторных условиях процесс реактивации проходит с большим эффектом благодаря предварительной отмывке десорбированного угля от элюата, что удаляет с него соединения железа, являющегося цементатором золота, а также кремния и алюминия, полимерные соединения которых закупоривают поры угля, снижая его сорбционную емкость.

В результате работы были выявлены проблемы в процессе кислотной обработки, промывки угля от кислоты и реактивации угля. Были проведены опыты для выявления проблем. На основании проведенного исследования предложено:

1. Осуществлять кислотную обработку НАУ в проточном режиме, что позволит удалить не менее 70 % кальция с насыщенного угля, повысит эффективность десорбции и сорбционную емкость угля.
2. Отмывать НАУ от кислоты чистой водой. Это снизит содержание примесей металлов в НАУ, сократит время десорбции, понизит остаточную емкость золота в десорбированном угле, увеличит эффективность сорбции в хвостовой части сорбции, повысит благородность сплава Доре.
3. Проводить отмывку угля от элюата после десорбции, что повысит эффективность реактивации сорбционной способности угля, снизит потери Au с угольной мелочью.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Извлечение металлов платиновой группы и золота из сульфидного рудного концентрата / А. О. Нетрусов, Б. А. Гужов, А. К. Тер-Оганесянц [и др.] // XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии : Тезисы докладов: в 6 томах, Санкт-Петербург, 09–13 сентября 2019 года. Том 3. – Санкт-Петербург: Б. и., 2019. – С. 83. – EDN QGKDMK.
2. Влияние удельной поверхности активированных углей на сорбцию ионов  $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$  из водных растворов / Р. И. Ибрагимова, С. Ф. Гребенников, В. В. Гурьянов [и др.] // Журнал физической химии. – 2014. – Т. 88, № 4. – С. 679-685. – DOI 10.7868/S0044453714040116. – EDN RWZUTB.
3. Влияние пористой структуры активированного угля на кинетику адсорбции цианидного комплекса золота(I) / Р. И. Ибрагимова, С. Ф. Гребенников, В. В. Гурьянов [и др.] // Журнал физической химии. – 2014. – Т. 88, № 6. – С. 1052-1057. – DOI 10.7868/S0044453714060168. – EDN SDXGFJ.
4. Филянин, Г. А. Амурский гидрометаллургический комбинат - ключевой элемент перерабатывающего узла ОАО "Полиметалл" на Дальнем Востоке / Г. А. Филянин, Н. В. Воробьев-Десятовский // Цветные металлы. – 2014. – № 6(858). – С. 29-36. – EDN SILWUZ.

УДК 621.10

Рубан Екатерина Андреевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ruban Ekaterina Andreevna, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Акулина Александра Анатольевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Akulina Alexandra Anatolevna, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Щелкунов Евгений Борисович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Schelkunov Evgeniy Borisovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, ОБЪЕДИНЯЮЩЕГО ТРАДИЦИОННЫЕ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INCREASING THE EFFICIENCY OF PARTS MANUFACTURING BY COMBINING TRADITIONAL AND ADDITIVE TECHNOLOGIES**

Аннотация. Работа посвящена повышению эффективности изготовления сложных по форме деталей в условиях единичного и мелкосерийного производства, объединяющего традиционные металлообрабатывающие и аддитивные технологии. Предлагается производить механическую обработку заготовки до отделения ее от платы построения, используя плиту построения, как элемент заготовки с искусственными базами в виде плоскости и двух отверстий.

Abstract. The work is devoted to increasing the efficiency of manufacturing complex-shaped parts in the conditions of single and small-scale production, combining traditional metalworking and additive technologies. It is proposed to perform mechanical processing of the workpiece before separating it from the build plate, using the build plate as an element of the workpiece with artificial bases in the form of a plane and two holes.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, 3D-принтер, заготовка, выборочное лазерное плавление.

Keywords: additive technologies, 3D printing, 3D printer, blank, selective laser melting.

### Введение

Традиционно единичное и мелкосерийное производство, присущее авиакосмической, судостроительной, машиностроительной отраслям, характеризуется большими объемами механической обработки, сопровождающейся съемом больших объемов материала при значительных затратах по трудоемкости с высокой потребностью в оборудовании и инструменте [1, 2, 3]. Перечисленные факторы негативно сказываются на эффективности производства.

В настоящее время одним из важнейших направлений развития современных производств являются аддитивные технологии.

Эффективность применения аддитивных технологий зависит от технологичности конструкции создаваемого изделия, количества и трудоемкости операций постобработки после 3D-печати изделия. На сегодняшний день применение аддитивных технологий наиболее эффективно для производства сложных по форме изделий в объемах единичного и мелкосерийного производства [1, 4]. Однако, являясь технологическим новшеством аддитивные технологии внедряются в производство недостаточно активно.

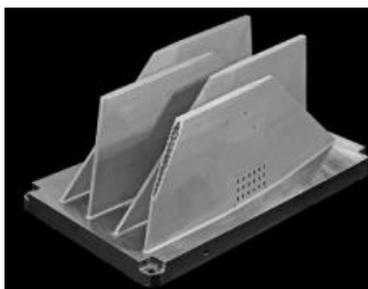
В работе предложено решение задачи повышения эффективности изготовления сложных по форме деталей в условиях единичного и мелкосерийного производства, объединяющего традиционные металлообрабатывающие и аддитивные технологии.

### Основная часть

На сегодняшний день наиболее подходящей аддитивной технологией создания деталей из металла является селективное лазерное плавление (SLM). Процесс построения изделия происходит путем нанесения на плиту построения слоя металлического порошка заданной толщины и сплавления частиц порошка между собой под воздействием луча лазера. Цикл повторяется до нанесения и закрепления последнего слоя. По окончании процесса полученное изделие прочно сплочено с плитой (рисунок 1, а), поэтому его срезают с плиты построения, например, ленточной пилой.

Для исключения деформации изделия в процессе построения используются поддерживающие структуры (рисунок 1, б) [5]. Поддерживающие структуры могут иметь форму столбиков различной формы. Их количество и размеры должны обеспечить необходимую жесткость для исключения возможной тепловой деформации элементов строящегося изделия.

а)



б)



Рисунок 1 – Плита построения с построенным на ней изделием без поддерживающих структур (а) и с поддерживающими структурами (б)

Полученный методом SLM объект, как правило, не является законченным изделием, а требует доработки и, следовательно, является заготовкой максимально приближенной по форме и размерам к готовому изделию. По завершении построения методом SLM заготовка извлекается из камеры построения и подвергается следующим операциям: очистка от не сплавленного порошка; термообработка для снятия внутренних напряжений; отделение от плиты построения; удаление поддерживающих структур; дальнейшая обработка субтрактивными методами для достижения требуемой формы, размеров и точности. Для этого при создании 3D-модели будущего изделия предусматриваются технологические припуски на механическую обработку.

Чем больше форма заготовки соответствует форме геометрически сложной детали, тем сложнее оказывается закрепить заготовку на станке для обработки. Обычно в единичном и мелкосерийном производстве применяется универсальная оснастка (тиски, прихваты и т.п.). Однако применение универсальной оснастки для базирования заготовок деталей со сложной геометрией с помощью универсальных приспособлений не всегда возможно без нарушения принципов базирования.

Для обеспечения возможности точного позиционирования и закрепления заготовки без нарушения принципов базирования и деформации поверхностей будущего изделия предлагается производить механическую обработку заготовки до отделения ее от плиты построения, используя плиту построения, как элемент заготовки с искусственными базами в виде плоскости и двух отверстий.

На рисунке 3 представлены 3D-изображение детали "качалка" (а) и пример расположения ее заготовки на платформе построения SLM-принтера (б). Заготовка 1, построенная в рабочей камере принтера, связана с платформой построения 3 посредством поддерживающих структур 2. В представленном виде заготовка может устанавливаться на стол фрезерного станка с ЧПУ для последующей обработки. При необходимости выполнения в технологическом процессе нескольких операций механической обработки заготовка перемещается между операциями совместно с плитой построения. Таким образом, реализуется принцип постоянства баз. Предлагаемое решение позволяет исключить применение универсальных и специальных приспособлений при обработке заготовки детали на станке с ЧПУ без потери стабильности качества обработки, а также, сократить время изготовления детали.

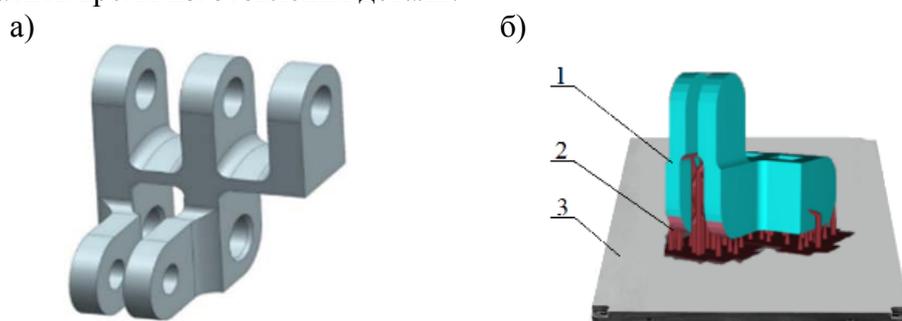


Рисунок 3 – Плита построения с заготовкой

### **Заключение**

В работе предложено решение задачи повышения эффективности изготовления сложных по форме деталей в условиях единичного и мелкосерийного производства, объединяющего традиционные металлообрабатывающие и аддитивные технологии, заключающееся в том, что заготовка, полученная методом SLM-печати, обрабатывается на станках с ЧПУ до отделения ее от плиты построения 3D-принтера. Нижняя плоскость и отверстия в углах платформы построения используются при обработке в качестве искусственных технологических баз.

Предлагаемое решение позволяет исключить применение универсальных и специальных приспособлений при обработке заготовки детали на станке с ЧПУ без потери стабильности качества обработки, а также, сократить время изготовления детали.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вехов, А. С. Применение аддитивных технологий в современном производстве / А. С. Вехов, С. А. Титаренко // Решетневские чтения. 2018. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-additivnyh-tehnologiy-v-sovremennom-proizvodstve> дата обращения: 07.12.2024).
2. Акулина, А. А. Анализ методов 3D-печати применительно к изготовлению детали качалка / А. А. Акулина, Е. Б. Щелкунов // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 4-6. – EDN CSNSUT.
3. Немолякина, Е. А. Аддитивные технологии в авиастроении / Е. А. Немолякина, Е. Б. Щелкунов // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 78-80. – EDN JYDJYG.
4. Возможности применения аддитивных технологий при конструировании и производстве вооружения, военной и специальной техники / П. С. Войнов, В. Я. Беленький, Д. С. Белинин, С. В. Варушкин // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2021. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-primeneniya-additivnyh-tehnologiy-pri-konstruirovanii-i-proizvodstve-vooruzheniya-voennoy-i-spetsialnoy-tehniki> (дата: 07.12.2024).
5. SLM 3D-печать металлом с примерами Audi, Porsche, SpaceX и NASA // TOP 3D SHOP, 21 декабря, 2018 (обновлено 21 ноября, 2023) <https://top3dshop.ru/blog/slm-3d-metal-printing-ide.html?srsltid=AfmBOoqidnd> - XievMQf\_tP0rnjdNro57sDthpUQqMKtfczbfz2VCKRk0 (дата обращения 07.12.2024).

УДК 620.169.1

Сергеев Виталий Анатольевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sergeev Vitaly Anatolievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Шакирова Ольга Григорьевна, доктор химических наук, профессор, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shakirova Olga Grigorievna, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФРАКТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ НА НЕФТЕ- И ГАЗОПРОВОДАХ POSSIBILITY OF APPLYING FRACTOGRAPHIC ANALYSIS TO CLASSIFY DEFECTS IN OIL AND GAS PIPELINES**

Аннотация. В работе были изучены и классифицированы различные дефекты нефте- и газопроводов, выяснена их степень опасности, а также рассмотрены перспективы применения фрактографического анализа участка трубопровода с дефектом для определения его опасности. В работе были проведены расчеты твердости по Бринеллю, ударной вязкости стали КСV, а также составлена методика определения механических повреждений. Результатом работы является систематизация полученных знаний в виде диаграмм, а также экономические расчеты по эффективности использования фрактографического анализа для определения механического повреждения.

Abstract. In the work various defects of oil and gas pipelines were studied and classified, their degree of danger was found out, and the prospects of application of fractographic analysis of a pipeline section with a defect to determine its danger were considered. Brinell hardness, impact toughness of steel KCV were calculated, and the methodology for determining mechanical damage was developed. The result of the work is the systematization of the obtained knowledge in the form of diagrams, as well as economic calculations on the efficiency of using fractographic analysis to determine mechanical damage.

Ключевые слова: фрактография, твердость по Бринеллю, классификация дефектов, механическое повреждение.

Key words: fractography, Brinell hardness, defect classification, mechanical damage.

### **Введение**

Проблема механических повреждений (МП) участков трубопроводов является актуальной проблемой в настоящее время [1]. Так при простаивании трубопроводов из-за повреждений предприятия несут большие экономические убытки, а также высока вероятность негативного экологического влияния на окружающую среду. Работа создана с целью нахождения возможного способа уменьшения экономических потерь предприятий, и вредных выбросов в биосферу.

Целью работы было изучение механических повреждений, их причин, а также возможности их диагностирования с помощью фрактографического анализа поврежденного участка [2], на примере стали 17ГС, используемой для нефте- и газопроводов.

Для выполнения цели работы были поставлены следующие задачи: изучить фрактографический анализ механического повреждения, рассчитать твердость в месте деформации, ударную вязкость, и сделать вывод по степени опасности с помощью исследования относительной деформации металла в месте повреждения [3].

### **Основная часть**

При рассмотрении влияния каждого из видов дефектов, а также при анализе отчетов внутритрубной диагностики 2019-2021 годов, было выявлено, что на долю МП в разных видах трубопроводов, приходится примерно 2 % от общего количества выявленных дефектов. При этом именно механические повреждения в большинстве своем считают недопустимыми дефектами во время эксплуатации нефтепроводов (67 %). Это связано с тем, что, в соответствии с действующей в данный период методикой оценки их опасности, представленной в “Рекомендациях по оценке прочности и устойчивости, эксплуатируемых МГ и трубопроводов КС”, если размеры МП будут выше указанных в документе, то дефект относится к категории недопустимых к эксплуатации без проведения расчетной степени опасности.

Несмотря на критичность МП, согласно данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2022 году, количество аварийных разрушений, связанных с механическими повреждениями, снизилось с 17% до 15,7%.

Оценка опасности дефектов, обнаруженных при проведении внутритрубной инспекции трубопроводов, характеризуется двумя определенными параметрами: относительной глубиной ( $d/t$ , где  $d$  – максимальная глубина дефекта,  $t$  – толщина стенки трубопровода) и длиной  $L$  в продольном направлении трубопровода. При этом ширина дефекта не учитывается, так как оказывает существенно меньшее влияние на величину разрушающего давления трубы по сравнению с максимальной глубиной  $d$  и длиной  $L$  дефекта.

В результате расчета для каждого дефекта определяется степень опасности, в соответствии с которой дефект классифицируется по трем категориям: «опасные», «неопасные» и «недопустимые».

Повышение точности оценки опасности дефектов с помощью внутритрубных дефектоскопических приборов может быть достигнуто путем увеличения информатив-

ности самих дефектоскопических аппаратов посредством изменения режимов их движения и съема информации с целью получения динамических характеристик обнаруженных дефектов.

Для определения степени опасности механических повреждений были взяты данные об особенностях металла в зоне данного повреждения. Это фрактографический анализ разрушенного вследствие механического воздействия участка трубопровода (рисунок 1).

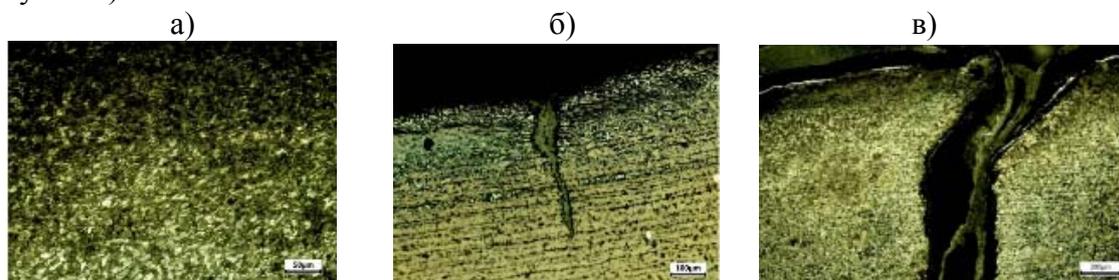


Рисунок 1 – фрактографический снимок зерен металла в зоне механического повреждения; (а) – участок, удаленный более чем на 70 мм, (б) – участок на расстоянии 50-70 мм от зоны механического повреждения, (в) – зона непосредственного повреждения

Так как для таких трубопроводов зачастую используют низколегированную сталь 17 ГС, а ее примерная стандартная твердость равна 160-170 ед. по шкале Бринелля, то все расчеты дефектов были проведены относительно стандарта. По результатам расчетов установлено, что в среднем в месте МП (рисунок 1в) твердость по Бринеллю составляет более 180 ед., а в пределах превышает 215 ед., что на 45 ед. выше нормы, и на 30 ед. выше, чем на других участках металла. В средней зоне (рисунок 1б) появляются колонии микротрещин вследствие воздействия на участок соседнего механического повреждения, твердость ведет себя схожим образом, превышает норму более чем на 20 ед. НВW. В удаленной зоне (рисунок 1а) отклонений не наблюдается. Итого по увеличению твердости металла, можно сделать вывод об уменьшении его пластичности, что ведет к ухудшению работоспособности участка трубопровода и является обязательным к ликвидации дефектом.

Разрушение трубы с МП происходит в несколько стадий. На первом этапе появляется трещина внутри механического повреждения, далее – трещина развивается до критических размеров под действие эксплуатационных работ и давления внутри трубопровода, на последней стадии – критическое МП приводит к разрушению участка трубы. Для определения этапа разрушения использован расчет относительной деформации стали с учетом изменения ее ударной вязкости КСВ.

На графике зависимости ударной вязкости от относительной деформации (рисунок 2) видно значительное отклонение КСВ стали образца 17ГС от нормы, представленной в СП 36.13330.2012. Оно гораздо ниже допустимого, что инициирует рост степени предварительной деформации металла вплоть до 10%, и является недопустимым для дальнейшего использования нефтепровода и требует починки.

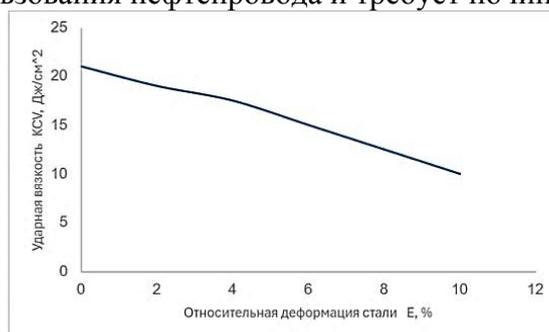


Рисунок 2 – Относительная деформация стали в зоне механического повреждения

## **Заключение**

Таким образом, выполняя фрактографический анализ участка повреждения по данной методике и получая по нему соответствующие данные, такие как твердость в месте повреждения, ударная вязкость KCV, а также относительная деформация металла в зоне повреждения, мы можем судить о степени опасности данного повреждения для производства. Оно либо будет безопасным, либо опасным, которое можно будет поставить в плановый ремонт, не понеся при этом больших экономических потерь.

На основе проведенной работы, можно считать фрактографический анализ места повреждения стали перспективным способом определения опасности данного дефекта. Технические расчеты помогают уменьшить экономические и временные затраты на диагностику потенциальной угрозы на участке нефте- газопровода.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Лаврентьев, Н. Д. Совершенствование методики определения опасности дефектов типа «Механическое повреждение / Н. Д. Лаврентьев, И. В. Максютин // Нефть и газ - 2022 : Материалы 76-ой Международной молодежной научной конференции, Москва, 25–29 апреля 2022 года / Отв. редактор В.Г. Мартынов, сост. А.Ф. Максименко, А.Н. Комков, Р.Р. Фатхутдинов. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2022. – С. 259-267. – EDN MSHMBV.
2. Григоренко, В. Б. Применение фрактографического анализа для определения причин разрушения изделий из среднеуглеродистых сталей / В. Б. Григоренко, Л. В. Морозова // Труды ВИАМ. – 2018. – № 8(68). – С. 98-111. – DOI 10.18577/2307-6046-2018-0-8-98-111. – EDN XVVSUX.
3. Основы коррозионного разрушения трубопроводов : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 130501 "Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ" направления подготовки дипломированных специалистов 130500 "Нефтегазовое дело" / Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Тюменский гос. нефтегазовый ун-т" ; [В. Д. Макаренко и др.] ; под ред. В. Д. Макаренко. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2009. – 403 с. – ISBN 978-5-9961-0140-5. – EDN QMYXTZ.

УДК 004.925.84:621(076)

Тимохин Олег Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Timokhin Oleg Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Пронин Александр Иннокентьевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Pronin Alexander Innokentievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛИ**

### **AUTOMATION OF THE TECHNOLOGICAL PREPARATION OF THE PRODUCTION OF A PART**

Аннотация. Статья посвящена исследованию автоматизации технологической подготовки производства детали. В настоящее время является очень важным сокращение времени на технологическую подготовку производства, чтобы предприятия могли изготавливать изделия и осваивать новую продукцию, а также повышать уровень специалистов на производстве. Временные производственные системы в значительной степе-

ни зависят от уровня автоматизации, что оказывает прямое влияние на эффективность их работы.

Annotation. The article is devoted to the study of automation of technological preparation for the production of a part. Currently, it is very important to reduce the time for technological preparation of production so that enterprises can manufacture products and master new products, as well as raise the level of specialists in production. Temporary production systems are highly dependent on the level of automation, which has a direct impact on the efficiency of their work.

Ключевые слова: автоматизированные системы, технологический процесс, производство детали.

Key words: automatic systems, technological process, parts production

### **Введение**

Для достижения высокой точности выполнения задач и соблюдения последовательности технологических процессов требуется внедрение специализированных автоматизированных систем управления. Эти системы играют ключевую роль в оптимизации производства, снижении издержек и повышении качества выпускаемой продукции.

### **Основная часть**

Автоматизированные системы состоят из множества компонентов, включая датчики, контроллеры, исполнительные механизмы, а также программное обеспечение, которое координирует их работу.

В зависимости от потребностей производства, такие системы могут разрабатываться для специфических производственных процессов, чтобы удовлетворять уникальные технологические требования компании.

Кроме того, существуют универсальные автоматизированные решения, которые могут быть адаптированы к различным отраслям промышленности.

Инвестиции в автоматизацию технологических процессов производства – это стратегия, требующая значительных финансовых вложений. Однако, такое вложение быстро окупается за счет повышения производительности и уменьшения затрат. В результате внедрения автоматизированных систем можно наблюдать рост производственной прибыли практически сразу. Подобные системы способствуют улучшению условий труда работников, минимизации рисков несчастных случаев и повышению уровня безопасности на производственной площадке [1].

Техническая подготовка производства (ТПП) включает в себя обеспечение технологичности изделий, что подразумевает как технологичность конструкции продукции, так и технологичность работ, необходимых для ее изготовления, эксплуатации и возможного ремонта.

Эта часть подготовки охватывает разработку и внедрение различных технических процессов, таких как механическая обработка, сборка, штамповка, литье и термообработка

Все это направлено на эффективное производство деталей и комплектующих изделий.

Проектирование и последующее создание необходимого нестандартного оборудования и технологической оснастки, включающей приспособления, пресс-формы, штампы, а также специальные режущие и измерительные инструменты, также составляют важную часть ТПП.

Эффективное управление техническими процессами подготовки производства становится решающим фактором в достижении общей эффективности производственной системы. Схема технологического процесса показана (рисунок 1).

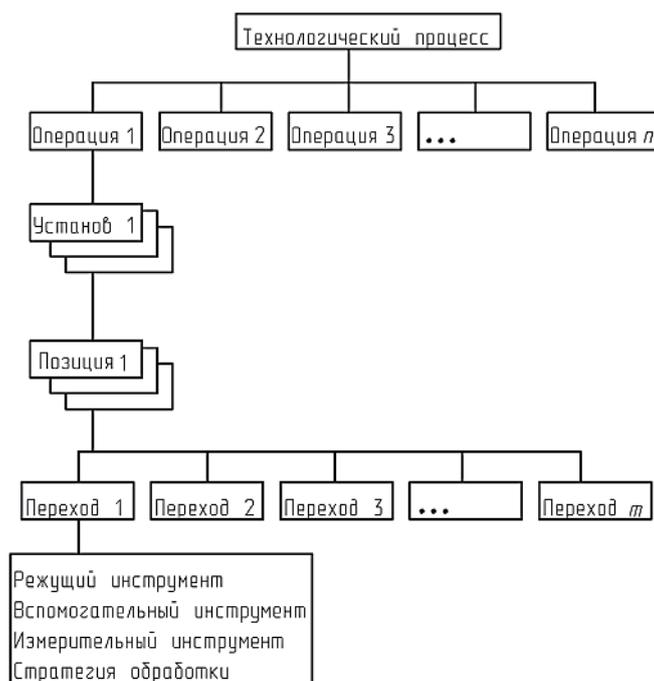


Рисунок 1 – Технологический процесс

В настоящее время ведется активная разработка с целью объединения средств автоматизации для производства продукции машиностроения на базе систем CAD/CAM/CAPP/CNC/CAI/CAIP[2].

Для того чтобы использовать полученные результаты при автоматизации моделирования технических процессов, мы представляем их в математическом виде в виде алгоритмов (рисунок 2).

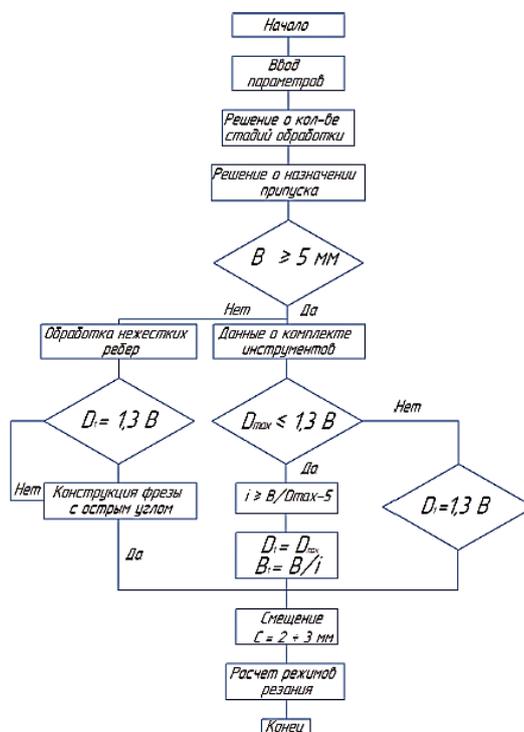


Рисунок 2 – Алгоритм принятия решения для условий фрезерной обработки открытых плоскостей

Автоматизация процесса технической подготовки производства базируется на анализе исходных данных, который осуществляется с использованием передовых технологий, таких как трехмерное моделирование.

При этом, системы компьютерного моделирования позволяют запускать и анализировать трехмерные модели, что значительно облегчает процесс планирования и подготовки производства.

Компьютеризированная система автоматизированного проектирования процессов, известная как CAPP (Computer Aided Process Planning), играет решающую роль в проектировании технических процессов и обработке различной технической документации. Данная система предоставляет интерактивную платформу, в которой содержится обширная база данных, включающая информацию о применяемых материалах, используемом оборудовании, ассортименте продукции и технологической оснастке.

Главной задачей таких систем является детализированное планирование производственного процесса, что включает в себя всестороннее изучение и оптимальное распределение всех необходимых ресурсов.

Автоматизация управления технологическими процессами технической подготовки производства позволяет эффективно решать широкий спектр сложных задач, что связано с подготовкой к производственному процессу [3].

Программное обеспечение, такое как NX™ CAM, предоставляет пользователю набор инструментов, которые позволяют автоматизировать программирование станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Данное программное обеспечение включает в себя возможности для обработки на основе элементов, использования шаблонов обработки, доступ к библиотеке режимов резания, а также функционал мастеров процессов обработки. Кроме того, пользователи имеют возможность создавать собственные операции обработки и методы управления для контурной обработки.

Это значительно уменьшает количество рутинных задач, с которыми сталкивается пользователь, таких как выбор геометрии детали, установка режимов резания и параметров операций, что, в свою очередь, упрощает и улучшает техническую подготовку производства. При этом пользователь имеет возможность уделить больше времени созданию операций обработки, создание которых на данный момент не автоматизировано (рисунок 3).

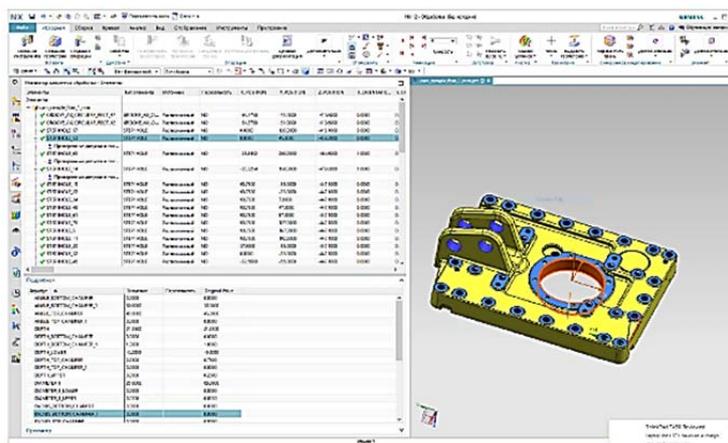


Рисунок 3 - Пример инструментов автоматизации программирования станков

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Автоматизация производств и технологических процессов URL: <https://levetek.ru/?yclid=9537606934788571135>
2. Кугаевский, С. С. Технология механической обработки корпусных деталей на базе распознавания типовых конструктивных форм : Учебное пособие для студентов вуза, обучающихся по направлению подготовки 15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств / С. С. Кугаевский ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный универ-

ситет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2021. – 120 с. – ISBN 978-5-7996-3334-9. – EDN OTTXSL.

3. Яблочников, Е. И. Автоматизация технологической подготовки производства в приборостроении / Е. И. Яблочников, А. В. Пирогов, Ю. С. Андреев ; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2018. – 116 с. – EDN ZMNIQL.

УДК 621.113

Чжао Цзыдун, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Zhao Zidong, Graduate Student, Komsomolsk-na-Amure State University

Шуляк Дарья Андреевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shulyak Darya Andreevna, Student, Komsomolsk-na-Amure State University

Башкова Татьяна Игоревна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Материаловедение и технология новых материалов», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Bashkova Tatiana Igorevna, Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the Department of Materials Science and Technology of New Materials, Komsomolsk-na-Amure State University

### **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ МИКРОДУГОВОМ ОКСИДИРОВАНИИ** **ANALYSIS OF THE FACTORS INFLUENCING THE PRODUCTION OF OXIDE COATINGS DURING MICROARC OXIDATION**

Аннотация. Технология микродугового оксидирования основана на анодном окислении, при котором образуются оксидные пленки с различными характеристиками, возникающими за счет влияния различных факторов в условиях высокой температуры и давления. При изменении данных факторов оксидная пленка, формируемая на поверхности вентильных металлов, может приобрести свойства не только определяющие ее толщину и шероховатость и пористость, но и важные технологические и эксплуатационные свойства, такие как износостойкость, коррозионную стойкость и изоляционные свойства к напряжению электрического пробоя. Параметры микродугового оксидирования должны быть подобраны исходя из знаний о протекании на границе металл-электролит химических и термодинамических процессов, а также результатов проведения опытно-экспериментальных исследований.

Abstract. The microarc oxidation technology is based on anodic oxidation, in which oxide films with different characteristics are formed due to the influence of various factors under high temperature and high pressure conditions. When these factors change, the oxide film formed on the surface of valve metals can acquire properties not only determining its thickness and roughness and porosity, but also important technological and operational properties such as wear resistance, corrosion resistance and insulating properties to electrical breakdown voltage. The parameters of microarc oxidation should be selected based on knowledge about the course of chemical and thermodynamic processes at the metal-electrolyte interface, as well as the results of experimental studies.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, оксидное покрытие, влияющие факторы.

Key words: microarc oxidation, oxide coating, influencing factors.

## Введение

Технология микродугового оксидирования (МДО) заключается в том, что различные металлы, такие как Al, Mg, Ti, и др. помещаются в электролит, а затем проходят через плазму для завершения процесса разряда после подачи напряжения. Основными компонентами пленки, образующимися при оксидировании алюминия и его сплавов, являются  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  и  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Оксидный слой, полученный методом микродугового оксидирования, обладает высокой прочностью сцепления с поверхностью алюминиевого сплава. Процесс микродугового оксидирования не сложен в реализации, относительно недорог и не загрязняет окружающую среду [1, 2]. Он широко используется в аэрокосмической промышленности, машиностроении, электронике, автомобилестроении для создания защитных, электроизоляционных или износостойких покрытий. Управляя различными факторами процесса микродугового оксидирования, такими как время оксидирования, плотность тока, напряжение импульсов, можно получать оксидные покрытия заданной толщины и шероховатости [3, 4]. Наличие оксидных покрытий на алюминиевом сплаве также может изменять характер развития усталостных трещин [5].

## Основная часть

Оборудование для микродугового оксидирования показано на рисунке 1. Оно содержит модуль регистрации и управления системой МДО с источником питания установки МДО (1), ячейку для выполнения оксидирования с ванной и электролитом (2), образец (3), измеритель температуры (4), устройство для перемешивания электролита (5), систему циркуляции и охлаждения электролита (6). Неизбежный нагрев электролита, происходящий в результате выделения количества значения, требует обязательного наличия охлаждения. Поддержание температуры электролита в пределах 25-40 °С обеспечивает наибольшую стабильность скорости роста требуемых показателей свойств и эксплуатационных характеристик покрытий, что является очень важным для достижения требуемых значений характеристик при заданном времени оксидирования.

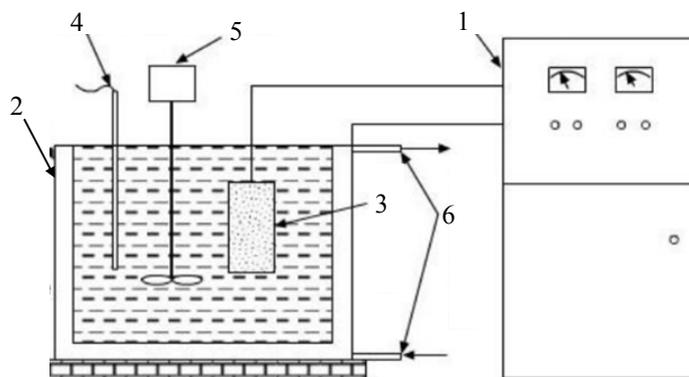


Рисунок 1 – Схема устройства для микродугового оксидирования

В процессе выполнения оксидирования происходит изменение состава электролита и уровня его кислотности. Добавление в электролит щелочи или кислоты обеспечивает смещение кислотности электролита в необходимый диапазон значений, что также повышает стабильность скорости роста заданных параметров оксидирования.

Существует множество факторов, влияющих на результаты экспериментов, выполняемых при микродуговом окислении, таких как состав электролита, электрические параметры (ток, амплитуда импульсов напряжения), состав исходного металла или сплава, время окисления.

Выбор состава и концентрации электролитов являются важными факторами при микродуговом окислении. Оксидные пленки, полученные в разных электролитах, обладают разными свойствами. Для протекания электрохимической реакции в процессе микродугового окисления используются, как правило, два вида электролитов: кислотный электролит и щелочной электролит. Большинство лабораторий выполняют окисле-

ние при анодно-катодной или анодной импульсной поляризации обрабатываемых металлов в растворах солей и щелочей низкой концентрации.

Для определения электрических параметров пленки, полученной методом микродугового оксидирования, существует три основных параметра: первый - режим подачи электрических импульсов (анодно-катодный, анодный), второй - плотность тока и третий - частота импульсов. Основными энергетическими режимами микродугового оксидирования являются постоянный ток, переменный ток, асимметричный переменный ток, односторонний импульс, двусторонний асимметричный импульс и т.д.

Плотность тока оказывает значительное влияние на свойства и характеристики покрытия, получаемого при микродуговом окислении. Повышение плотности тока приводит не только к увеличению толщины, но также шероховатости и твердости покрытий на алюминиевых сплавах [4, 5]. Однако, когда плотность тока ниже минимального предельного значения, процесс микродугового окисления практически невозможен. Превышение определенного значения максимальной плотности тока неизбежно приведет к значительному пригоранию в течение всего процесса выращивания покрытия. В дополнение к большому потреблению энергии при высокой плотности тока, поверхность становится значительно более шероховатой. Чем выше частота импульсов, тем меньше пор на поверхности образующейся оксидной пленки и тем более гладкой она становится; толщина керамической пленки имеет тенденцию сначала увеличиваться, а затем уменьшаться при увеличении частоты. Легирующие элементы металлической подложки в разной степени влияют на микроструктуру пленки, и удельный вес содержания  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в пленке. Отрицательное влияние на характер формирования оксидных покрытий оказывает содержание Mg, Cu и Zn.

На образование керамической пленки, формируемой при микродуговом оксидировании, большое влияние оказывает время окисления. Покрытие быстро увеличивается в начале микродугового оксидирования, а затем с течением времени рост покрытия постепенно замедляется. Однако, при постоянной плотности тока возможен линейный рост толщины пленки в зависимости от времени в определенном диапазоне толщины формируемого керамического слоя.

#### **Заключение**

Поскольку микродуговое окисление имеет множество влияющих факторов, необходимо правильно выбирать соответствующие параметры оксидирования. Процесс микродугового оксидирования требует больших затрат энергии в сравнении с другими видами окисления. Кроме того, массовое производство крупногабаритных заготовок с покрытиями, выполненными по всей поверхности, затруднено. Внимание исследователей должно быть направлено на необходимость снижения энергопотребления при одновременном обеспечении высокой эффективности и производительности, а также качества формируемых оксидных покрытий.

#### **Благодарности**

Работа подготовлена при поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (проект НШ-452.2022.4).

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Ситникова, В. Г. Условия и механизм химического оксидирования алюминия и его сплавов / В. Г. Ситникова, М. Ю. Кузьмина // Молодежный вестник ИРГТУ. – 2019. – Т. 9, № 4. – С. 76-81. – EDN GERQFZ.
2. Влияние скважности на катодные релаксационные процессы и электрохимические свойства формируемых покрытий на титане / П. С. Гордиенко, О. С. Василенко, У. В. Харченко [и др.] // Перспективные материалы. – 2013. – № 11. – С. 59-64. – EDN RPXULX.
3. Investigation of the influence of electrical modes on the morphology and properties of oxide coatings on aluminum alloy 1163, obtained by the microarc oxidation / O. V. Bashkov,

F. Bao, T. I. Bashkova, X. Li // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – Vol. 200. – P. 87-95. – DOI 10.1007/978-3-030-69421-0\_10. – EDN TWTOYQ.

4. Бао, Ф. Исследование влияния электрических режимов микродугового оксидирования на морфологию оксидного покрытия на алюминиевом сплаве 1163 / Ф. Бао, О. В. Башков, С. Ли // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, в 3 ч., Комсомольск-на-Амуре, 06–10 апреля 2020 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. – С. 14-18. – EDN TFMOYP.

5. Acoustic emission that occurs during the destruction of coatings applied by microarc oxidation on an aluminum alloy / O. Bashkov, F. Bao, V. A. Kim [et al.] // Materials Today: Proceedings : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2019, Sevastopol, 09–13 сентября 2019 года. Vol. 19. – Sevastopol: Elsevier Ltd, 2019. – P. 2522-2525. – DOI 10.1016/j.matpr.2019.08.174. – EDN NUWQBT.

УДК 621.791.927.5

Шанин Рустам Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shanin Rustam Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Григорьев Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Grigorev Vladimir Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

Плетнев Никита Олегович, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Pletnev Nikita Olegovich, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПОЛУЧЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ АДДИТИВНОЙ ДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ OBTAINING PRODUCTS OF COMPLEX CONFIGURATION BY ADDITIVE ARC WELDING**

Аннотация. В настоящей работе представлена технология послойной аддитивной наплавки трех различных заготовок. Полученные заготовки имеют сложную конфигурацию: цилиндрическую, усеченной сферы и плоско-криволинейной. Получение заготовок выполнено с использованием ЧПУ-станка портального типа в комбинации со сварочным инвертором. По результатам работы определена микроструктура полученных заготовок и распределение микротвердости по сечению наплавляемых слоев.

Abstract. This paper presents the technology of layered additive surfacing of three different workpieces. The resulting blanks have a complex configuration: cylindrical, truncated sphere and flat-curved. The workpieces are produced using a portal-type CNC machine in combination with a welding inverter. Based on the results of the work, the microstructure of the obtained blanks and the distribution of microhardness over the cross section of the deposited layers were determined.

Ключевые слова: аддитивное производство, дуговая наплавка, микроструктура, микротвердость.

Key words: additive manufacturing, arc welding, microstructure, microhardness.

### **Введение**

В настоящее время, для изготовления металлических изделий проводят исследования в области аддитивных технологий, учитывая при этом необходимый показатель прочностных характеристик для преобладающего количества металлоизделий, который

пока не может быть обеспечен у изделий, которые получены выращиванием. Аддитивные технологии находятся только на начальном этапе своего развития, соответственно, в данной области имеется множество неисследованных материалов и технологий. На сегодняшний день существуют основные виды аддитивных способов наплавки [1], к которым относятся: лазерная, электронно-лучевая, плазменная и дуговая [2–4].

#### Основная часть

Для осуществления наплавки был разработан специальный кронштейн для портального станка плазменной резки, позволяющий размещать горелку на исполнительном механизме и регулировать положение горелки в процессе наплавки (рисунок 1).

Для наплавки были выбраны 3 детали различной формы: цилиндрической, усеченной сферы и плоско-криволинейной (рисунок 2).

Для получения изделий применены следующие режимы аддитивной наплавки: сила тока 100-250 А, напряжение 21 В, скорость наплавки 800 мм/мин, скорость подачи проволоки 1,5-2,5 м/мин, расход газа 10 л/мин.



Рисунок 1 – Кронштейн крепления сварочной горелки (а) и общий вид комплектации станка для аддитивной наплавки (б)

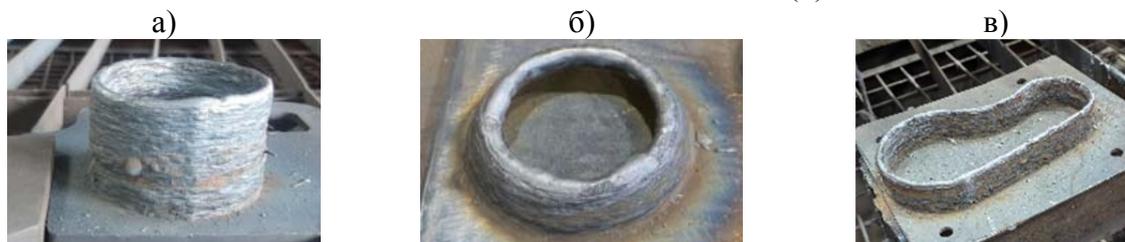


Рисунок 2 – Полученные изделия, выполненные методом аддитивной наплавки: а – цилиндрической формы; б – усеченной сферы; в – плоско-криволинейной формы

Исследование микроструктуры выполнялось на образце плоско-криволинейной формы (рисунок 3, а). Раскрой образца для исследования микроструктуры выполняли угловой шлифовальной машиной.

После токарной обработки заготовки в виде цилиндрической формы (рисунок 3, б) установлено, что обрабатываемость является удовлетворительной, подповерхностных дефектов и расслоений между наплавленными слоями не обнаружено.

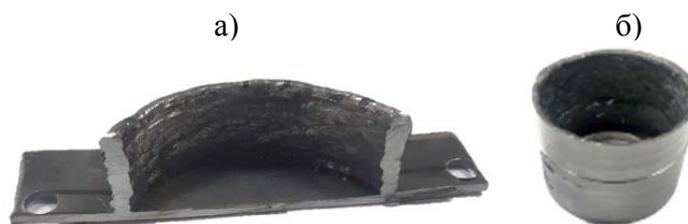


Рисунок 3 – Раскрытый образец для дальнейшего изучения микроструктуры наплавленных валиков (а) и Цилиндрическая заготовка, полученная методом аддитивной наплавки после токарной обработки (б)

Микроструктуру образцов изучали на разных увеличениях  $\times 100$ ;  $\times 400$ ;  $\times 1000$  с использованием металлографического микроскопа Nikon MA200.

Макро и микроструктура исследуемой заготовки в виде плоско-криволинейной формы представлена в виде двух образцов, образец 1 - начало наплавки, образец 2 - от начала наплавки на расстоянии 120 мм (см. рисунок 4). Представленные снимки микроструктуры получены при увеличении  $\times 400$ .

Анализируя структуру образца 1 в первом слое, установлено наличие дефекта в виде «несплавления». Образование данного дефекта характерно для места начала аддитивной наплавки из-за недостаточной температуры нагрева.

Анализируя структуру образца 2 видно, что на линии сплавления присутствует равномерно или относительно равномерно распределенный зернистый перлит с мелкоглобулярным размером. На торце подложки наблюдается увеличение зерна, что доказывает наличие термического воздействия.

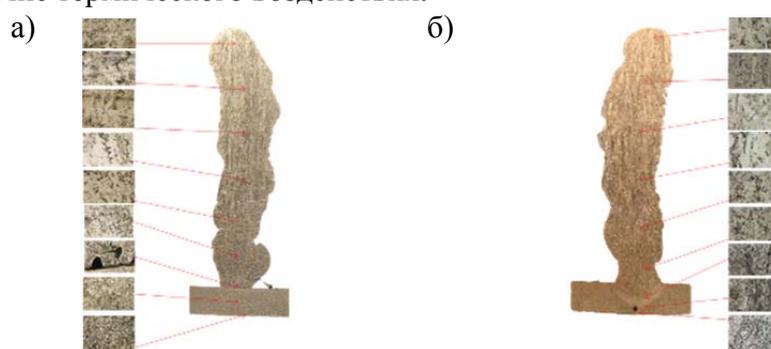


Рисунок 4 – Макро и микроструктура образца 1 (начало наплавки) (а) и макро и микроструктура образца 2 (от начала наплавки на расстоянии 120 мм) (б)

Графики изменения микротвердости представлены на рисунке 5, из которого было установлено, что происходит рост микротвердости от верхних слоев к нижним. Это можно объяснить различием во времени термического воздействия на разные слои наплавки.

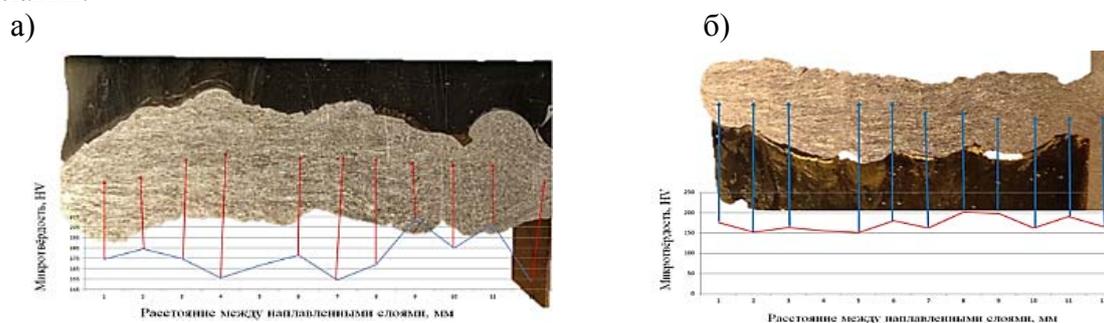


Рисунок 5 – Полученные результаты измерений микротвердости в поперечном сечении: а - образец №1; б - образец №2

### Заключение

По результатам исследования установлено:

- траектория выполнения наплавки напрямую влияет на продолжительность термического воздействия на предыдущий слой наплавки, а также на изменение структуры металла;
- при изготовлении образцов с использованием метода аддитивной наплавки, необходимо учитывать зону термического влияния, а также изменение структуры металла.

В качестве основных выводов следует выделить следующее:

- установлена возможность получения изделий сложной геометрической формы при помощи дуговой аддитивной наплавки;

- установлено, что по всему сечению образцов микроструктура материала различна: преобладает ферритно-перлитная смесь с увеличением размера зерен от нижних к верхним слоям образцов;

- по результатам измерения твердости установлено, что имеются внутренние напряжения из-за быстрой кристаллизации. Наименьший показатель микротвердости в точке начала наплавки из-за отсутствия термической обработки. Среднее значение, полученное по результатам измерения 174 HV, что является допустимым без отклонений. Для исключения образования видманштеттовой структуры и равномерного распределения твердости по сечению изделия необходим предварительный и сопутствующий подогрев в процессе наплавки.

#### **Благодарности**

Исследования выполнены за счет средств ФГБОУ ВО «КНАГУ» НИР № ВН001/2020 "Разработка алгоритма и исследование процесса программируемого управления формированием сварочного/ наплавочного валика (в том числе и в применении аддитивных технологий) на установке автоматической сварки в защитных газах» 2020-2023 гг.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Аддитивные технологии наплавки. Состояние и перспективы развития / М. В. Радченко, Т. Б. Радченко, Ю. О. Шевцов, В. С. Киселев // Сварка и диагностика. – 2017. – № 4. – С. 38-42. – EDN ZDVHKN.

2. Analysis of technological processes laser surfacing in additive manufacturing / A. Madiyarova, M. Chazhabayeva, A. Bukayeva [et al.] // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2022. – No. 4(123). – P. 172-182. – DOI 10.52167/1609-1817-2022-123-4-172-182. – EDN EGEOZE.

3. Какорин, Д. Д. способы послойного синтеза металлических изделий / Д. Д. Какорин, А. Ю. Лаврентьев // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 3(11). – С. 24-33. – DOI 10.46573/2658-5030-2021-24-33. – EDN JQOPFA.

4. Получение металлических изделий с применением электронно-лучевых аддитивных технологий / В. Г. Залесский, И. Л. Поболь, А. А. Бакиновский, А. Д. Губко // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2018. – Т. 63, № 2. – С. 169-180. – DOI 10.29235/1561-8358-2018-63-2-169-180. – EDN XYKLRZ.

УДК 62-799

Шумагин Антон Михайлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shumagin Anton M., student, Komsomolsk-na-Amure State University

Отряскина Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Otryaskina Tatyana A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ВЫБОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ГАЗОТРУБОПРОВОДОВ SELECTION OF METHODS AND MEANS OF CONTROL OF GAS PIPELINES**

Аннотация. В настоящее время основной задачей технического обслуживания магистральных газопроводов является обеспечение их бесперебойной работы в течение

длительного времени. Это особенно важно при увеличении расхода газа. В данной статье рассматриваются основные методы диагностики трубопроводов и их особенности. Выбран оптимальный метод контроля дефектов и толщины труб, основанный на методе магнитоакустический дефектоскопии и подобран измерительный комплекс модели ДМТП(Б)-А.

Abstract. Currently, the main task of technical maintenance of main gas pipelines is to ensure their uninterrupted operation for a long time. This is especially important when gas consumption increases. This article discusses the main methods for diagnosing pipelines and their features. The optimal method for monitoring defects and pipe thickness, based on the magnetoacoustic flaw detection method, was selected and a measuring complex model DMTP(B)-A was selected.

Ключевые слова: газопровод, дефект, магнитоакустический метод, дефектоскопия, коррозия.

Key words: gas pipeline, defect, magnetoacoustic method, flaw detection, corrosion.

### Введение

Магистральные трубопроводы являются одним из ключевых звеньев экономики. От их бесперебойной и безаварийной работы зависит большое количество потребителей, как промышленных, так и простых потребителей. Магистральные трубопроводы обеспечивают постоянную подачу газа в больших объемах, в связи с этим трубопроводы при эксплуатации испытывают воздействия различных нагрузок и факторов, что приводит их к повреждениям и авариям. Основными причинами деформации и последующего разрушения трубопроводов является нестабильная работа компрессорных станций и воздействие окружающей среды, что приводит к усталостной деформации и как следствие образования и развитие трещин. Трещины становятся очагами коррозии, которые приводят к утончению стенки трубы и потере прочностных характеристик [1]. Следовательно, основной задачей диагностики является обнаружение трещин на разных стадиях развития и остаточной толщины стенки [2].

### Основная часть

При определении деформационного состояния трубопровода используются различные виды технической диагностики, основанные на различных типах физических полей и излучений. Основной принцип диагностики трубопровода заключается в неразрушающем контроле. К таким средствам диагностики относятся методы магнитного, электромагнитного, радиационного и акустического контроля



Рисунок 1– Классификация средств неразрушающего контроля

Основной особенностью диагностики трубопроводов являются большая протяженность и труднодоступность, особенно подземных. Поэтому для диагностики чаще всего используются внутритрубные средства контроля [3]. Такие устройства очень хорошо встраиваются в систему очистных скребков, и позволяют проводить диагностику вместе с очисткой трубопроводов от различных отложений. Что в свою очередь повышает качество контроля труб.

На рисунке 2 представлены сравнительные характеристики основных методов диагностики, способных проводить контроль во внутреннем пространстве трубы.

Из сравнения следует, что магнитоакустическая диагностика является наиболее оптимальным методом контроля дефектов трубопровода благодаря высокой точности результатов и отсутствию необходимости вскрывать грунт для проведения диагностики. Этот метод использует принцип электромагнитной акустической эмиссии (ЭМА), основанный на возбуждении и приеме ультразвукового сигнала в металле диагностируемого трубопровода, без использования контактных жидкостей.

Наименование метода	Выявляемые дефекты	Особые условия, требования для проведения работ	Достоверность получаемых результатов
Метод акустической эмиссии	Активные трещиноподобные дефекты, локальные коррозионные язвы с микротрещинами	Вскрытие трубопровода до верхней образующей с шагом 40...60 м. Перед проведением замеров необходимо изменение давления в трубопроводе минимум на 30%	30...50 %
Метод акустической и магнитной дефектоскопии	Локальные коррозионные и механические дефекты с указанием местоположения и размеров	Оборудованность камерами пуска-приема, подготовка полости трубопровода, устранение дефектов геометрии трубы (более 10%), равнопроходное сечение на всем участке диагностирования	55...60 %
Метод интенсивной электрометрии	Изменение диэлектрических свойств и сквозные дефекты изоляционного покрытия	Наличие действующей системы ЭХЗ	до 35 %

Рисунок 2 – Сравнительные характеристик методов диагностики

С помощью телеметрического магнитоакустического дефектоскопа ДМТП(Б)-А можно выявить зоны образования микротрещин на любом участке диагностируемого трубопровода, определить толщину стенок трубы и проследить развитие коррозии, а также оценить состояние изоляции трубы.

На рисунке 3 представлен комплекс магнитоакустической дефектоскопии с модулем ДМТП(Б)-А, состоящий из магнитного датчика высокого разрешения и ультразвуковых датчиков широкого ракурса позволяющие получать данные высокой степени достоверности. Эти комплексы успешно применяются для диагностики газопроводов, поскольку они не нуждаются в жидкостном контакте.



Рисунок 3 – Магнитоакустический дефектоскоп:

а – Модели ДМТП(Б)-А; б – Комплекс магнитоакустической дефектоскопии в сборе

Данный комплекс позволяет отобразить все дефекты трубы, как в графическом виде, так и в цифровом формате. Пример отображения трещины на труде магнитоакустическим дефектоскопом представлен на рисунке 4.

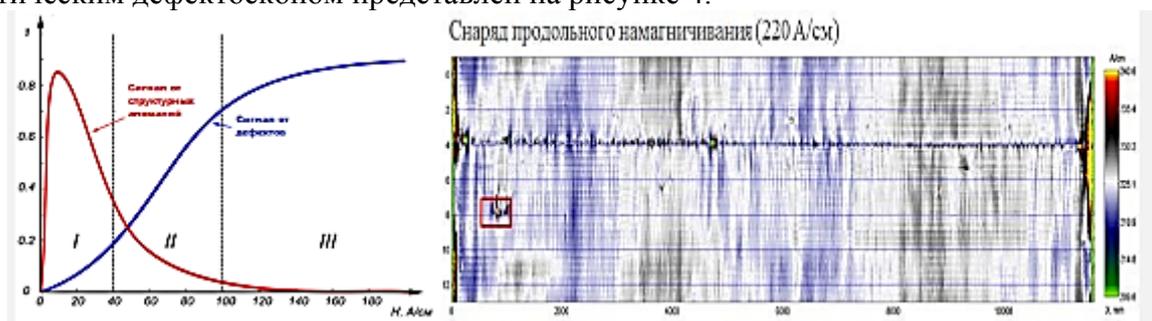


Рисунок 4 – Результаты магнитоакустической дефектоскопии

В представленной дефектограмме четко виден дефект трубы, что подтверждается и графически отображением результатов.

### **Заключение**

В ходе исследования выяснилось, что использование стандартного контрольно-измерительного оборудования не обеспечивает высокую точность данных о дефектах трубопровода, а в некоторых случаях и вовсе затруднительно. Поэтому возникает необходимость в дополнительном дефектоскопическом контроле в шурфах.

В таком случае комплексный подход к обследованию и диагностике трубопроводов позволяет получить достоверную информацию о техническом состоянии трубопровода и обеспечить его безупречную работу. Таким комплексным подходом обладает магнитоакустическая дефектоскопия, в частности модель ДМТП(Б)-А. Позволяющий без вскрытия трубопровода оценить не только наличия дефекта, но и охарактеризовать его по размерам и характеру появления.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Оптимизация долгосрочного планирования диагностики и ремонта линейной части магистральных газопроводов в Системе управления техническим состоянием и целостностью ГТС ОАО "Газпром" / С. В. Алимов, С. В. Нефедов, Г. А. Милько-Бутовский, И. Н. Курганова // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2014. – № 1(17). – С. 5-12. – EDN SPDХGJ.
2. Мелехин, О. Н. Оценка уровня надежности газотранспортной системы в зависимости от планируемых объемов капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов / О. Н. Мелехин, В. Е. Грязин // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2014. – № 1(17). – С. 13-15. – EDN SPDХНХ.
3. Городниченко, В. И. Повышение уровня надежности газотранспортной системы в зависимости от планируемых объемов капитального ремонта / В. И. Городниченко, В. Е. Грязин // Территория Нефтегаз. – 2015. – № 11. – С. 137-139. – EDN VOKХТН.

## **СЕКЦИЯ. ТРАНСПОРТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС, АВИАЦИОННАЯ И МОРСКАЯ ТЕХНИКА**

УДК 629.5: 341.655

Аксёнова Ольга Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Aksenova Olga Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University,

Бурменский Андрей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Burmensky Andrey Dmitrievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department "Shipbuilding and Computer Engineering", Komsomolsk-na-Amure State University

### **СУДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ОТРАСЛЬ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА В УСЛОВИЯХ САНКЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ THE SHIPBUILDING INDUSTRY OF THE FAR EAST IN THE CONTEXT OF SANCTIONS RESTRICTIONS**

Аннотация. Последствия санкционной политики, развернутой в отношении России с 2014 года недружественными странами, ощутили на себе и судостроительные верфи Дальневосточного региона. Учитывая, что Президентом России был продекларирован курс на импортозамещение, по факту отечественная судостроительная промышленность, в том числе и предприятия Дальнего Востока оказались не готовы к санкционному давлению со стороны США и стран Евросоюза. Особенно сильно влияние санкций в секторе гражданского судостроения. В статье рассматриваются проблемы судостроительной промышленности, связанные с импортозависимостью от поставок судового оборудования.

Abstract. The consequences of the sanctions policy deployed against Russia since 2014 have been felt by unfriendly countries and Far Eastern shipyards. Considering that the Russian President declared a course for import substitution, in fact the domestic shipbuilding industry, including the shipyards of the Far East, were not ready for the sanctions pressure from the United States and the EU countries. The influence of sanctions is especially strong in the civil shipbuilding sector. The article examines the problems of the shipbuilding industry related to import dependence on the supply of ship equipment.

Ключевые слова: судостроение, технологическая независимость, импортозамещение, технологический суверенитет.

Keywords: shipbuilding, technological independence, import substitution, technological sovereignty.

#### **Введение**

Особо усугубилась ситуация в судостроительной отрасли с началом введения в 2022 году Россией на территории Украины специальной военной операции (далее – СВО), а также с введением странами Евросоюза, США, Великобритании, и ряда других стран беспрецедентных санкции.

Основными ключевыми проблемами для судостроительной промышленности стали ограничения на поставку в Россию высоких технологий, оборудования двойного назначения, приостановка работы иностранных производителей на территории Российской Федерации.

Учитывая, что проекты, строящихся заказов на российских судостроительных верфях, были разработаны проектными судостроительными бюро до 2014 года, соот-

ветственно, с началом СВО уровень импортозависимости судостроительной промышленности оставался на высоком уровне.

По отдельным категориям доля импортного оборудования составила от 40% до 90%. Например, в крупнотоннажных наливных судах доля импорта составила 76% суммарного тоннажа строящихся судов, в рыболовных и краболовных - 5% [1].

При этом, судовое оборудование, электронная компонентная база, а также иные сложные изделия, производимые российскими предприятиями, изготавливаются, в том числе, с привлечением иностранных комплектующих. Поставщики иностранного оборудования и других изделий массово направляли отказы российским компаниям в поставке, подпадающего под санкции товара, при этом, указанные комплектующие не производятся в России и носят уникальный характер.

В указанных условиях многие производители промежуточной или конечной продукции судового оборудования вынуждены были приостановить поставки в рамках существующих производственных цепочек, что негативно сказывается на сроках строительства судов и передачи их заказчикам [2].

### **Основная часть**

Крупнейшими судостроительными предприятиями Дальневосточного региона являются публичное акционерное общество «Амурский судостроительный завод» (г. Комсомольск-на-Амуре, Хабаровский край) и Судостроительный комплекс «Звезда» (г. Большой Камень, Приморский край). Если Амурский судостроительный завод (ПАО «АСЗ») является форпостом Тихоокеанского флота, а также выполняет иные государственные программы по строительству гражданских судов различного назначения, то Судостроительный комплекс «Звезда» (ССК «Звезда») в первую очередь ориентирован на крупнотоннажное судостроение, обеспечивающее судоходство и освоение шельфа в Арктике.

В последние годы эти судостроительные предприятия столкнулись с проблемами поставки комплектующих судового оборудования, необходимостью поиска их замены, что приводит к необходимости перепроектирования уже строящихся заказов и разработки новых технических решений.

В отношении Амурского судостроительного завода были введены санкционные меры ограничительного характера [3]. Указанные меры предполагают запрет на совершение сделок с участием ПАО «АСЗ» по поставке и экспорту товаров и технологий двойного назначения, а также товаров и технологий, которые могут способствовать военному или технологическому развитию России, в том числе в области обороны и безопасности.

В первую очередь от действия данных санкций особо пострадал сектор гражданского судостроения Амурского судостроительного завода. Так на заводе в период 2021–2024 годов шла достройка двух паромов проекта CNF11CPD «Александр Деев» и «Василий Ощепков» (рисунок 1), и многофункционального аварийно-спасательного судна мощностью 7 МВт, проекта MPSV06 «Керченский пролив» (рисунок 2) [4].



Рисунок 1 – Паром проекта CNF11CPD



Рисунок 2 – Многофункциональный спасатель проекта MPSV06

Паром проекта CNF11CPD и судно спасатель проект MPSV06 разработаны Морским Инженерным бюро (г. Санкт-Петербург) до 2014 года [4], в связи с чем проектная

документация предусматривала широкую номенклатуру поставок основных комплектующих иностранного производства, в том числе производимых компаниями Wärtsilä, «Patfinger Marine GmbH», Rolls-Royce, Kongsberg Maritime. Alfa Laval Group.

Ещё до начала СВО иностранные поставщики отказались от проведения сервисных работ на судне проекта MPSV06 на оборудовании производства Roll-Royce и производства Kongsberg. Это потребовало провести частичное перепроектирование судна, что в конечном счете отразилось на сроках строительства.

В результате успешной работы Волго-Каспийского проектного конструкторского бюро по доработке рабоче-конструкторской документации проекта MPSV06 [5] и проведения работы Амурским судостроительным заводом по поиску альтернативных поставщиков иностранного оборудования, судно «Керченский пролив» будет сдано государственному заказчику, хотя и с существенными отступлениями от первоначальных контрактных сроков.

Аналогичная ситуация сложилась и со строительством двух паромов проекта CNF11CPD. Как было указано выше, в техническом проекте судна был заложен большой перечень иностранных производителей.

Начиная с 2022 г. завод систематически получал официальные отказы поставщиков в поставке иностранных комплектующих, что, в свою очередь, негативно сказалось на графике строительства парома. В настоящее время ПАО «АСЗ» совместно с проектным бюро прорабатывает вопрос в поиске альтернативных поставщиков.

Примечательно, что паром проекта CNF11CPD «Александр Деев» в мае 2023 года был передан ПАО «АСЗ» заказчику. В данном случае актуальными являются слова министра промышленности и торговли России Дениса Мантурова, что промышленность работает «не благодаря, а вопреки – санкциям».

Санкционные ограничения затронули еще одно крупное судостроительное предприятие Дальнего Востока – Судостроительный комплекс «Звезда».

ССК «Звезда» стратегическое важное предприятие для Дальневосточного региона. Проект ССК «Звезда» реализуется по поручению Президента и Правительства Российской Федерации совместно с АО «Роснефтегаз», ПАО «НК «Роснефть» и АО «Газпромбанк».

Судостроительный комплекс «Звезда» специализируется на строительстве крупнотоннажных, танкерных судов (рисунок 3), а также других видов морской техники с целью реализации программ по освоению континентального шельфа (рисунок 4).



Рисунок 3 – Танкер-газовоз класса Arc7



Рисунок 4 – Многофункциональное судно снабжения проекта IBSV 10022

В связи с санкционным давлением недружественных стран, предприятие ССК «Звезда» не смогло в срок построить головной заказ – танкер-газовоз Arc7 для СПГ-проекта НОВАТЭКа «Арктик СПГ-2». Срыв сдачи танкера обуславливает, в том числе сложность приобретения иностранного судового оборудования.

Основная проблема по строительству танкеров-газовозов Arc7 заключается в поставке иностранных винторулевых колонок, а также проведением монтажных работ на указанном оборудовании. Танкер-газовоз класса Arc7 спроектирован под определенный тип двигателя, отечественных аналогов которому нет [6]. Второй актуальной пробле-

мой при строительстве газозовов является отсутствие отработанной отечественной технологии создания мембранных танков для рефрижераторных газозовов.

С проблемами поставок судового оборудования ССК «Звезда» столкнулась и при строительстве многофункциональных судов снабжения усиленного ледового класса Icebreaker 7 проекта IBSV 10022. Следует отметить, что проект IBSV 10022 разработан ЦКБ «Лазурит» и Damen Shipyards Group. По данному проекту на верфи было заложено 4 судна. Головное судно «Катерина Великая» было спущено еще в 2020 году, но до сих пор не сдано заказчику.

### **Заключение**

Необходимо отметить, что зачастую судостроительные предприятия в условиях санкционного давления со стороны недружественных стран попадают в сложную ситуацию. С одной стороны, зная обо всех проблемах судостроительной промышленности, заказчики предъявляют серьезные штрафные санкции за срыв сроков строительства, с другой стороны заводы самостоятельно не могут вносить изменения в проекты без их одобрения самими заказчиками. По сути, судостроительные предприятия остаются «крайними» в такой ситуации. На самом деле судостроительные заводы строят корпуса судов и насыщают их оборудованием, предусмотренным в проекте, которое пожелал к установке на судне и утвердил сам заказчик.

Поэтому очень важно на правительственном уровне урегулировать вопросы взаимоотношений в условиях санкций в производственной цепочке: проектант – завод – строитель – заказчик. Следует отметить, что работа в данном направлении, хотя и медленно, но ведется.

30 марта 2023 года заместитель Председателя Правительства – Министр промышленности и торговли Денис Мантуров на очередном заседании Морской коллегии при Правительстве России отметил, что основная цель в судостроении – это ускоренный перевод всего цикла производства на российскую научно-промышленную базу.

26 июня 2024 года Президентом России на совещании по вопросам развития кораблестроения в целях обеспечения обороноспособности и безопасности страны было отмечено, что кораблестроение – это сложная, высокотехнологичная отрасль. Президентом обращено внимание, что необходимо заранее проводить опытно-конструкторские работы по судовому оборудованию, приборам и системам. Указанные меры позволят сократить сроки проектирования и строительства судов и кораблей.

Таким образом, государство, проводя эффективную политику замены товаров (импортозамещения), используя определенные государственные методы регулирования, сможет создать реальные возможности судостроительным предприятиям, а также предприятиям входящих в цепочку кооперации выйти на такой уровень развития науки, техники, технологии, которое в свою очередь сможет обеспечить необходимую потребность национальной экономики и безопасность страны, а значит и ее технологическую независимость.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Санкции против судостроительной отрасли России приведут к переносу сроков строительства судов и требуют увеличения масштабов господдержки, чтобы избежать отказа заказчиков флота / Информационное агентство “INFOLine”- маркетинговые исследования : сайт, 2022 – . – URL: [https:// infoline.spb.ru/news /index1.php? news = 216719](https://infoline.spb.ru/news/index1.php?news=216719). / (дата обращения: 20.11.2024).
2. ПАО «Амурский судостроительный завод» / Официальный сайт «Амурский судостроительный завод» – Раздел сайта «Продукция». – . – URL: <https://асзкмс.рф/ продукция/> (дата обращения: 20.11.2024).
3. Щеголихин, П. «Невозможно строить корабль в одиночку, корабль строят тысячи людей одновременно», – генеральный директор Амурского судостроительного завода / П. Щеголи-

хин // Корабел.ру: сайт – . – URL: [https://www.korabel.ru/news/comments/nevozmozhno\\_stroit\\_korabl\\_v\\_odinochku\\_korabl\\_stroyat\\_tysyachi\\_lyudey\\_odnovremenno-generalnyy\\_direktor\\_amurskogo\\_sudostroitel\\_nogo\\_zavoda.html/](https://www.korabel.ru/news/comments/nevozmozhno_stroit_korabl_v_odinochku_korabl_stroyat_tysyachi_lyudey_odnovremenno-generalnyy_direktor_amurskogo_sudostroitel_nogo_zavoda.html/) (дата обращения: 20.11.2024).

4. Морское инженерное бюро : официальный сайт – . – URL: <https://mebspb.com/about.html/> (дата обращения: 20.11.2024).

5. Щеголихин, П. Один день из жизни разработчика судов: Волго-Каспийское ПКБ об опыте работы / П. Щеголихин // Корабел.ру: сайт. – . – URL: [https://www.korabel.ru/news/comments/odin\\_den\\_iz\\_zhizni\\_razrabotchika\\_sudov\\_volgo-kaspiyskoe\\_pkb\\_ob\\_opyte\\_raboty.html/](https://www.korabel.ru/news/comments/odin_den_iz_zhizni_razrabotchika_sudov_volgo-kaspiyskoe_pkb_ob_opyte_raboty.html/) (дата обращения: 20.11.2024).

6. У судоверфи "Звезда" появились проблемы. – . – URL: <https://www.tek-all.ru/news/id9583-u-sudoverfi-zvezda-royavilis-problemi/>(дата обращения: 20.11.2024).

УДК 621.18

Боровик Михаил Васильевич, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

BorovikMihail Vasilyevich, magistrant, Komsomolsk-na-Amure State University

Смирнов Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Smirnov Aleksey Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УГОЛЬНЫХ ТЭС WAYS TO IMPROVE THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF COAL-FIRED THERMAL POWER PLANTS**

Аннотация. Согласно прогнозным перспективам развития энергетики России в краткосрочной и среднесрочной перспективе, тепловые электростанции сохраняют за собой твердые позиции. При этом, на сегодняшний день они занимают долю 68,8 % в суммарной мощности, вырабатываемой энергетикой России. Соответственно, представляют интерес и вопросы, связанные с повышением эффективности эксплуатации тепловых электростанций. Одним из направлений в этой сфере является улучшение экологических показателей станций. Данная работа посвящена путям повышения экологической эффективности угольных тепловых электростанций.

Abstract. According to the forecast prospects for the development of Russian energy in the short and medium term, thermal power plants retain a firm position. At the same time, today they occupy a share of 68.8% of the total capacity generated by the Russian energy sector. Accordingly, issues related to improving the efficiency of operation of thermal power plants are also of interest. One of the directions in this area is to improve the environmental performance of the stations. This work is devoted to ways to improve the environmental efficiency of coal-fired thermal power plants.

Ключевые слова: тепловая электростанция, угольное топливо, паровые котлы, вредные выбросы.

Key words: thermal power plant, coal fuel, steam boilers, harmful emissions.

### **Введение**

Согласно Прогнозу научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России, на период до 2035 года, тепловые электростанции на органическом топливе составляют основу отечественной электроэнергетики. Так, в суммарной установленной мощности объектов энергетики страны тепловые электростанции (ТЭС) составляют 68,8 % (169 ГВт). Для сравнения, другие объекты энергетики составляют: гидроэлектростанции – 20,2 % (49,6 ГВт), атомные электростанции – 10,3

% (25,2 ГВт), прочие электростанции (гидроаккумулирующие, геотермальные, ветряные и солнечные) – менее 0,7 % (1,6 ГВт) [1]. И, несмотря на прогнозируемое развитие энергопредприятий на основе возобновляемых источников энергии, с соответствующим расширением их доли в общем балансе, ТЭС в ближайшей и среднесрочной перспективе остаются основой энергетики страны. Соответственно представляют интерес и вопросы, связанные с повышением эффективности эксплуатации ТЭС, в том числе экологической эффективности.

#### Основная часть

Тепловые электростанции оказывают разнонаправленное воздействие на окружающую среду. Основными факторами воздействия являются следующие:

- выбросы дымовых газов в атмосферу;
- сбросы сточных вод;
- тепловое загрязнение (при проточной системе технического водоснабжения);
- наличие золо- и шлакоотвалов;
- загрязнение почвы нефтепродуктами и др.

Каждому из этих направлений необходимо уделять должное внимание, учитывая при этом, что абсолютное большинство тепловых электростанций (теплоэлектроцентралей) находятся в непосредственной близости от населенных пунктов. Традиционно внимание в основном приковано к выбросам дымовых газов в атмосферу. Действительно, по данным источника [2], количество вредных выбросов от объектов энергетики составляет: золотвердые частицы – 38 %, окислы серы – 35 %, окислы азота – 40 %.

Рассмотрим основные методы снижения вредных выбросов с дымовыми газами ТЭС на рисунке 1, по данным источника [3]:



Рисунок 1 – Классификация методов снижения вредных выбросов с дымовыми газами ТЭС

Первый способ изначально подразумевает уменьшение вредных выбросов. Вторым способом позволяет устранить механические частицы (золу) в дымовых газах. Третий

и четвертый способы направлены на снижение оксидов азота за счет изменения режима и температуры горения.

В работе [4] говорится о применении на тепловых электростанциях сухих и мокрых золоуловителей. К сухим пылеуловителям при этом относят: жалюзийные золоуловители, циклоны и также электрофильтры. К мокрым золоуловителям относят различные виды скрубберов.

Анализируя указанные выше способы уменьшения вредных выбросов, следует отметить следующее. Использование для сжигания «подходящих» сортов угольного топлива зачастую невозможно, так как решение о покупке того или иного вида угля часто принимается на основе логистики, плеча доставки, сложившейся конъюнктуры на рынке. Установки для улавливания золы одним или другим способом, как правило, уже внедрены на действующих электростанциях. А проведение мероприятий по реконструкции горелок или организации рециркуляции дымовых газов не всегда возможно осуществить.

Еще одним способом, позволяющим снизить вредные выбросы в атмосферу, а конкретно окислы азота, является впрыск воды или пара в зону горения котельной установки. По этому способу, особенностям его применения приводится мало информации. Но, тем не менее, он представляется перспективным, так как требует минимальных затрат.

Особенности процесса подавления окислов азота за счет впрыска воды рассмотрены в источнике [5]. В частности, в работе говорится о двух группах выводов, сделанных на основе проведенных исследований по влиянию ввода воды или водяного пара. Одна часть исследователей считает, что на образование оксидов азота существенно не влияет даже значительное количество водяных паров, в то время как другие исследователи признают эффективность этого метода. Для большей ясности приведем некоторые численные результаты. Так, согласно некоторым данным, при впрыске воды в топочные устройства котлов при сжигании угля, мазута и газа снижение выхода оксидов азота не превышает 10 %. При впрыске воды в количестве 110 % от расхода топлива (или около 14 % от расхода воздуха) в периферийную часть факела в топку, оснащенную мазутной форсункой производительностью 29 Гкал/ч, содержание оксидов азота в продуктах сгорания снизилось всего на 22 % [5].

Интересно, что впрыск воды или водяного пара влияет в основном на снижение термических оксидов азота, в отличие от топливных  $\text{NO}_x$ . Также водяные пары влияют на скорость распространения пламени при сжигании углеводородного топлива, следовательно, они могут оказывать влияние на кинетику образования оксидов азота и даже при подаче в ядро зоны горения в малом количестве заметно влиять на выход оксидов.

На образование оксидов азота, как известно, влияет определенная температура сгорания топлива. Поэтому ввод воды или водяного пара надо осуществлять таким образом и в том месте, чтобы это могло повлиять на температуру в зоне горения и зоне образования оксидов азота. Таким образом, логично вводить воду или водяной пар непосредственно в топливовоздушную смесь или зону горения.

Есть решения, предусматривающие ввод воды в систему рециркуляции дымовых газов котельных установок. Есть сведения, что такой способ может снизить выбросы оксидов азота более, чем в два раза.

Следует учитывать и возможные недостатки рассматриваемого способа снижения эмиссии  $\text{NO}_x$ . Есть предположения, что он может влиять на устойчивость процесса горения и полноту выгорания топлива. При переохлаждении зоны горения в результате впрыска воды возможно увеличение выбросов окиси углерода  $\text{CO}$ . Из-за расхода теплоты на испарение воды тепловая эффективность котла может снизиться.

Частично компенсировать предполагаемое снижение тепловой эффективности котельной установки можно за счет установки в ее выходном тракте контактного кон-

денсатора, предназначенного для конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах.

Для оценки эффективности ввода воды или водяного пара в зону горения котла предлагается выполнить расчетные исследования на примере котла БКЗ-220-100 Хабаровской ТЭЦ-1.

#### **Заключение**

Для повышения экологической эффективности тепловых электростанций, снижения выбросов вредных веществ в окружающую среду перспективным представляется применение для котельных установок впрыска воды или пара в зону горения топлива. Предварительную оценку эффективности такого решения предложено провести с помощью расчетных исследований.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года. Министерство энергетики Российской Федерации, 2016.- 111 с.
2. Гаак, В.К., Финиченко, А. Ю., Гаак, А. В. Основные направления повышения экологической эффективности тепловой энергетики // Известия Транссиба. – 2019. – №4 (40). – С.120-128.
3. Васина, М. В. Снижение выбросов вредных веществ в атмосферный воздух от отходящих газов топливосжигающих установок ТЭЦ / М. В. Васина, К. О. Игнашина. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 16 (120). – С. 463-466. – URL: <https://moluch.ru/archive/120/33197/> (дата обращения: 10.12.2024).
4. Очистка выбросов котельных и ТЭЦ/ Электронный ресурс. Режим доступа: <https://gas-cleaning.ru/article/ochistka-vybrosov-kotelnyh-i-tec>(дата обращения: 10.12.2024).
5. Подача воды или пара в зону горения. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9812239/page:10/> (дата обращения: 10.12.2024).

УДК 533.6.04

Боровской Семен Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Borovskoy Semen Alexandrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Лозовский Иван Владимирович, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lozovsky Ivan Vladimirovich, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОГО КРЫЛА В МАЛОРАЗМЕРНОМ ЛЕТАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ THE USE OF AN ADAPTIVE WING IN A SMALL AIRCRAFT**

Аннотация. Статья посвящена исследованию применения адаптивной геометрии крыла в малоразмерных летательных аппаратах. В статье проведен обзор вариантов крыльев с адаптивной геометрией. Рассмотрены основные характеристики крыла. Цель адаптивной геометрии крыла – улучшить аэродинамические характеристики летательного аппарата на различных режимах полета.

Annotation. The article is devoted to the study of the application of adaptive wing geometry in small-sized aircraft. The article provides an overview of wing variants with adaptive geometry. The main characteristics of the wing are considered. The purpose of the adaptive wing geometry is to improve the aerodynamic characteristics of the aircraft in various flight modes.

Ключевые слова: адаптивная геометрия крыла, аэродинамические характеристики.

Keywords: adaptive wing geometry, aerodynamic characteristics.

## Введение

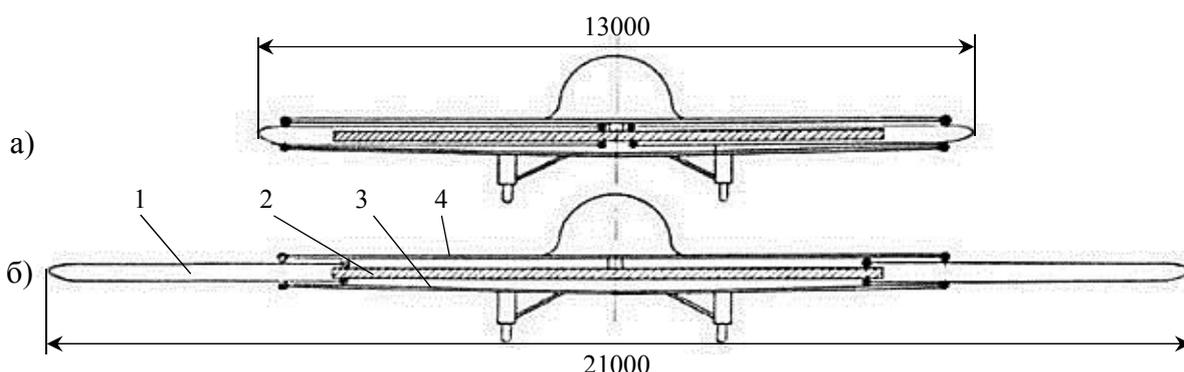
С начала развития авиации ученые и конструктора применяли конструкции крыльев, способных адаптироваться под различные скоростные режимы полета летательного аппарата (ЛА). Главной задачей адаптации крыла является улучшение аэродинамических характеристик ЛА в зависимости от режима полета. Данная задача может решаться различными способами.

## Основная часть

В 30-е годы XX века из-за увеличения скорости полета летательных аппаратов возник вопрос снижения аэродинамического сопротивления. Один из способов борьбы с данным явлением – уменьшение размеров крыла, следствием которого является ухудшение взлетно-посадочных характеристик.

В 1931 году во Франции появился экземпляр моноплана Мак-10 способного для взлета и посадки увеличивать размах крыла с помощью телескопической конструкции. Размах изменялся с 13 до 21 м, при этом площадь крыла увеличивалась в 1,5 раза (рисунок 1) [1].

В 1937 году был создан самолет с раздвижным крылом переменной площади – РК (ЛИГ-7) («Раздвижное крыло»). Крыло данного ЛА имело 6 подвижных концентрических секций, которые увеличивали площадь крыла. При размахе 11,3 м площадь крыла в неразложенном состоянии составляла  $16,52 \text{ м}^2$ . При выдвигании секций во время взлета-посадки площадь крыла возрастала до  $23,85 \text{ м}^2$  [2]. Это позволило увеличить крейсерскую скорость самолета при сохранении приемлемых взлетно-посадочных характеристик.

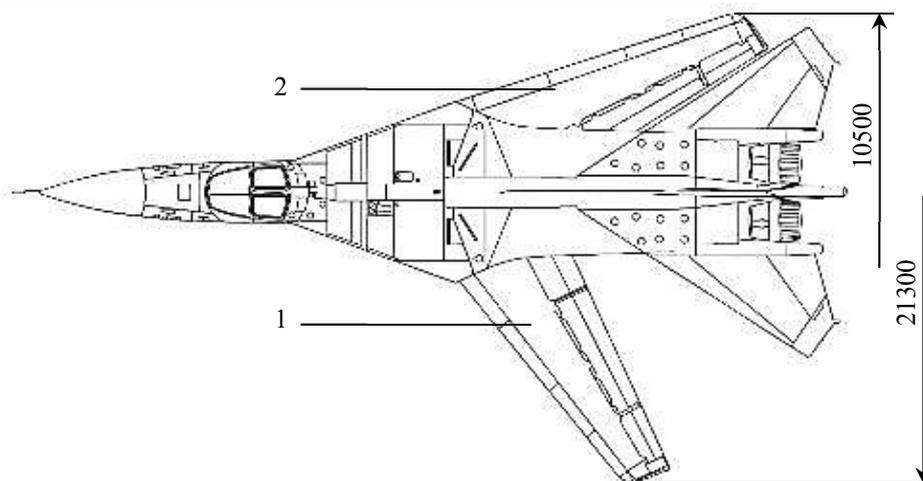


1 – выдвигаемая консоль крыла; 2 – направляющая; верхняя обшивка неподвижной части крыла; 3 – нижняя обшивка неподвижной части крыла

Рисунок 2 – Устройство телескопического крыла самолета Мак-10: а – крыло с убранными консолями; б – крыло с выпущенными консолями

Следующим способом адаптации крыла для различных режимов полета стало крыло изменяемой стреловидности (КИС), более подходящим считается термин «крыло изменяемой геометрии» (КИГ), ведь соответствующие изменения затрагивают все важнейшие характеристики главной несущей поверхности. Самолет должен взлетать с небольшой стреловидностью, для увеличения подъемной силы, затем при переходе на крейсерский режим складывать поворотные части крыла (ПЧК), увеличивая стреловидность и уменьшая сопротивление. Первым экземпляром ЛА с данным крылом стал Х-5 в 1948 году. Данный самолет имел возможность изменения стреловидности в одно из трех фиксированных положений, которое выставлялось на аэродроме во время подготовки самолета к полету.

Первым самолетом с крылом, изменяющим стреловидность в полете, стал тактический бомбардировщик F-111 (рисунок 2), первый полет которого прошел 21 декабря 1964 года [3]. При минимальной стреловидности крыло имело размах 21,3 м, при максимальной – 10,5 м.

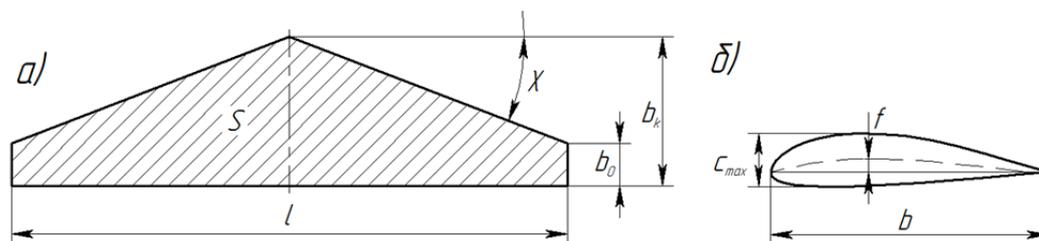


1 – положение крыла при минимальной стреловидности; 2 – положение крыла при максимальной стреловидности

Рисунок 3 – Самолет F-111, вид сверху

Перспективным методом улучшения аэродинамических характеристик ЛА является использование технологии адаптивного крыла. Это система управления механизацией, обеспечивающая плавное (в пределах необходимой точности, оно может быть и ступенчатым) изменение углов установки носков и закрылков в зависимости от угла атаки и числа Маха. Такое крыло принимает форму профиля, близкую к оптимальной на заданном режиме полета, что также позволяет повысить летно-технические характеристики ЛА, особенно на больших углах атаки. Адаптивная механизация применяется на самолетах F-22, Су-33, МиГ-35.

На рисунке 3 представлены основные геометрические характеристики крыла.



$b$  – хорда крыла, м;  $b_0$  – корневая хорда, м;  $b_k$  – концевая хорда, м;  $l$  – размах крыла, м;  $S$  – площадь крыла, м<sup>2</sup>;  $\chi$  – угол стреловидности крыла, °;  $c_{max}$  – толщина профиля, м;  $f$  – кривизна профиля, м

Рисунок 4 – Основные характеристики крыла: а – геометрические характеристики крыла; б – геометрические характеристики профиля

Удлинение крыла  $\lambda$  определяется по формуле.

$$\lambda = \frac{l^2}{S}$$

Указанные параметры оказывают существенное влияние на аэродинамические характеристики летательного аппарата. Путем изменения данных параметров в полете можно достичь оптимальных летно-технических характеристик аппарата на различных режимах полета.

Вышеперечисленные методы адаптации геометрии крыла имеют свои преимущества и недостатки. Однако в настоящее время трудно встретить серийные самолеты с такими конструкциями крыльев. При создании ЛА с адаптивной геометрией крыла конструктора сталкивались с рядом проблем. Крыло в современном исполнении не только создает подъемную силу, но является баком для заливки топлива, также на нем

располагаются различные системы механизации, оно используется для навески двигателей, вооружения и других различных систем. Также часто в крыле находится ниша уборки шасси. Это значительно ограничивает и усложняет конструкцию данного агрегата. Для того чтобы адаптивное крыло выдерживало все нагрузки его необходимо усиливать, что значительно увеличивает вес, следовательно, снижается эффективность всего ЛА.

### **Заключение**

Миниатюризация летательных аппаратов сопряжена с повышением их конструкционной жёсткости, что делает применение вышеупомянутых методов рациональным и обоснованным. Использование данных методов в малоразмерном летательном аппарате (МЛА) позволяет увеличить маневренность и стабильность аппарата. Изменение геометрии крыла на различных режимах полета позволяет снизить сопротивление, что увеличивает аэродинамическое качество крыла. Данный параметр влияет на эффективность расхода энергии, что особенно важно для МЛА, где объем топлива или аккумуляторной батареи значительно меньше, чем в полноразмерных ЛА. Применение данных методов повышает эффективность и функциональность МЛА, следовательно, их конкурентоспособность на растущем рынке данных летательных аппаратов.

### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Хабаровского края, Соглашение № 105 с/2024, а также Российского научного фонда, проект № 24-29-20111 от 12.04.24.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Соболев, Д. А. История самолетов 1919 – 1945 гг. / Д. А. Соболев. – Москва.: «Российская политическая энциклопедия» (РОССПЭН), 1997. – 357 с.
2. Соболев, Д. А. Экспериментальные самолеты России 1912-1941 / Д. А. Соболев. – Москва.: «Русское авиационное общество», 2015. – 296 с.
3. Ильин, В. Е. Бомбардировщики / Ильин В. Е., Левин М. А. – Москва.: «Виктория», 1996. – 272 с.

УДК 658.5:002:006.354

Гой Ольга Александровна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Goy Olga Aleksandrovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Айрих Илья Иванович, начальник инженерного управления, ПАО «Амурский судостроительный завод»

Airikh Ilya Ivanovich, head of engineering, PJSC “Amur Shipyard”

Журбина Ирина Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zhurbina Irina Nikolaevna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department “Shipbuilding and Computer Engineering”, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КОРПУСА OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSING FOR THE PRODUCTION HULL DETAILS**

Аннотация. В данной статье рассмотрены актуальные вопросы, связанные с технологической подготовкой корпусозаготовительного производства. Рассмотрен пример опти-

мизации работ по разработке технологической документации. Выявлены риски, влияющие на строительство заказов. Представлена автоматизация процесса изготовления корпусных конструкций.

Abstract. In this article the actual questions connected with technological preparation of hull fabrication production are considered. The example of optimization of works on technological documentation development is considered. Risks influencing the construction of orders are revealed. Automation of the process of hull structures manufacturing is presented.

Ключевые слова: судостроение, корпусозаготовительное производство, изготовление деталей корпуса, технологическая подготовка производства, сокращение потерь.

Key words: shipbuilding, hull construction, manufacturing of hull parts, technological preparation of production, loss reduction.

### **Введение**

Основное количество проектируемых и строящихся судов имеют стальной корпус и надстройку, изготавливаются из различных марок сталей под надзором таких классификационных обществ, как: Российский морской регистр судоходства, Российское классификационное общество (бывший Российский речной регистр) и других. Требования к материалам, изготовлению, испытанию и эксплуатации регламентируются соответствующими нормативными документами [1-3].

В частности, технология изготовления деталей корпусов судов регламентируется ОСТ 5Р.95079-2010 (Детали корпусов судов и других стальных сварных конструкций. Технология изготовления), на базе которого судостроительные предприятия отрасли разрабатывают рабочие технологические процессы, применительно к технологическому оборудованию и организационной структуре производства.

Можно выделить следующие укрупненные технологические этапы изготовления деталей корпуса судна: подготовка металлопроката, резка, обработка деталей.

Требования и последовательность технологических операций по указанным укрупненным этапам зависит от применяемых марок материалов, конструктивных особенностей, заложенных при проектировании, технологического оборудования производства и коэффициента его износа.

### **Технологическая подготовка и оптимизация работ**

Специфика корпусозаготовительного производства в сочетании с многообразием корпусных деталей и значительным консерватизмом отрасли определяет соответствующие требования к технологической подготовке производства. Правила оформления документов корпусообработывающего производства регламентированы РД 5.0352-88 [3] и определяют следующий состав технологической документации, разрабатываемой на корпусные конструкции судов:

- карта технологического процесса раскроя листа или профиля – документ определяющий номенклатуру деталей, вырезаемых с конкретного листа (профильного проката), содержащий графическое представление расположения деталей, информацию для нормирования;

- карта технологического процесса обработки деталей – документ определяющий маршрут изготовления детали (линию обработки), содержащий графическое представление детали, с учетом конструктивных особенностей, информацию для нормирования;

- комплектовочная карта – содержит номенклатуру деталей, передаваемых на последующие этапы производства;

- ведомость технологических комплектов – содержит номенклатуру планоучетных единиц (единица планирования работ) необходимых для изготовления корпусных конструкций судов.

Несмотря на простоту изложенной информации и ее обзорность (не содержит полного перечня выполняемых технологических операций корпусообрабатывающего производства) для возможности представления процесса приведем следующие величины для гражданского судна водоизмещением 5100 т с размерениями 86х19х8.6 м:

- количество корпусных деталей составляет порядка 44 000 шт., соответственно, количество карт обработки деталей составит 44 000 шт.;

- количество карт раскроя листового и профильного проката порядка 900 шт.

- период технологической подготовки корпусозаготовительного производства составляет 1-1,5 года при численности инженерного состава 12-15 человек.

Проанализировав представленные величины, можно выявить следующие риски, существенно влияющие на строительство заказа: длительный цикл подготовки производства и ограниченность инженерного персонала, необходимых для разработки документации. При этом основным риском является ограниченность инженерного персонала, т.к. невозможно сократить срок подготовки производства за счет привлечения персонала (отсутствуют кандидаты на рынке труда) и при сокращении численности период подготовки производства увеличивается.

Для решения данной задачи в рамках риск-ориентированного мышления необходимо выработать мероприятия на снижение негативных последствий, к которым отнесем следующее:

- оптимизация процесса (потока) технологической подготовки производства (I);
- стандартизация процесса (II) и переобучение специалистов смежных направлений инженерной подготовки производства (III);
- автоматизация процесса выпуска документации (IV) и изготовления деталей корпусных конструкций (V).

С точки зрения минимизации финансовых и временных затрат на реализацию указанных мероприятий, наиболее осуществимыми являются I, II и IV, соответственно, оптимизация процесса, стандартизация процесса и автоматизация процесса выпуска документации.

Переобучение специалистов (III) может быть эффективно, однако длительность обучения и качество (результативность) обучения во многом зависит от реализации мероприятий I, II и IV. При этом, необходимо учитывать доступность ресурса переобученных специалистов при сохраняющейся негативной тенденции нехватки инженерно-технических работников во всех областях и специализациях.

Автоматизация процесса изготовления корпусных конструкций (V) требует отдельного рассмотрения, т.к. повышение качества изготовления деталей является приоритетным направлением, однако связано с существенными финансовыми затратами и увеличением нагрузки на инженерный персонал.

Процесс формирования технологической документации, представленный на блок-схеме (рисунок 1), позволяет выделить и отнести этапы 5-13 к не создающим ценности для производства, но неизбежными, соответственно необходимо сокращать их длительность.



Рисунок 1 – Блок-схема процесса формирования технологической документации

Выпуск и формирование документации осуществляется на базе цифровых массивов данных, полученных из трёхмерной модели, созданной при проектировании судна. Массив данных на корпусные детали содержит информацию о материале (вид проката, марка материала, толщина), привязку к корпусной конструкции, весовые характеристики. При дополнении данного массива параметрами для нормирования (информация о гибке, фаске, припусках и т.д.) становится возможным автоматизация следующих этапов:

- формирование альбомов по толщине, виду профиля (5) – на базе массивов данных, заложенных в 3-хмерной модели и на предыдущем этапе технологической проработки;
- формирование перечней альбомов (6) – на базе прописанного алгоритма в программном обеспечении (ПО);
- составление маршрутной таблицы (7) – частичная автоматизация, на базе массивов данных, заложенных в 3-хмерной модели и на предыдущем этапе технологической проработки;
- регистрация отходов, формирование материальных карт (8) – частичная автоматизация на базе прописанного алгоритма в ПО;
- заполнение карт раскроя (9) – за счет доработки ПО в части вывода данных в печатную форму карты раскроя;
- заполнение карт обработки деталей (10) – за счет доработки ПО в части вывода данных в печатную форму карты обработки деталей;
- нормирование карт раскроя и обработки деталей (11) – за счет единовременного введения карт норм времени в ПО и обработке массивов данных, предыдущих этапов технологической проработки;
- нормирование по маршрутной таблице ПУЕ (12) – на базе прописанного алгоритма в ПО;
- комплектование альбомов по операциям (13) – на базе прописанного алгоритма в программном обеспечении (ПО).

### **Заключение**

Приведенный пример оптимизации процесса позволил сократить длительность, а на 10 и 11 этапах свести к нулю и исключить субъективные факторы, высвободить ресурс специалистов и в дальнейшем перераспределить его на этапы 2 и 3.

Дальнейшее продвижение по пути сокращения потерь времени на создание ценности для производства требует стандартизацию процессов по этапам подготовки производства, что позволит дополнить существующие алгоритмы обработки массивов данных, снизить требования к квалификации специалистов, повысить мобильность и доступность ресурсов в виде инженерно-технических рабочих.

Рассмотренные подходы возможно масштабировать на различные направления технологической подготовки производства в судостроении. Они соответствуют общей тенденции в промышленности, которые направлены на сокращение потерь, автоматизацию процессов, сокращение влияния субъективных факторов на протекание процесса.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 3.001-2023. Единая система технологической документации. Общие положения : нац. Стандарт РФ : изд. официальное : утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 ноября 2023 г. N 1337-ст : дата введения 2024-03-01 / разработан АО НИЦ «Прикладная Логистика». – Москва : ФГБУ «Институт стандартизации», 2024. – 12 с.
2. ГОСТ 3.1103-2011. Единая система технологической документации. Основные надписи, Основные положения : межгос. стандарт : изд. официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 12 мая 2011 г. N 39 : дата введения 2012-01-01 / разработан АНО НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика». – Москва : Стандартиформ, 2011. – 85 с.
3. РД 5.0352-88. Технологические документы судостроительной верфи. Правила оформления документов корпусообработывающего производства : дата введения 1990-01-01. – Старый Оскол : РТП НПО «РИТМ», 1989. – 20 с.

УДК 004.92:629.5: 378.147

Журбина Елена Николаевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zhurbina Elena Nikolaevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Аксёнова Ольга Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Aksenova Olga Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University,

Бурменский Андрей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Burmensky Andrey Dmitrievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department “Shipbuilding and Computer Engineering”, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ PLM-РЕШЕНИЙ КОНСОРЦИУМА «РАЗВИТИЕ» В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ КОРАБЕЛОВ В КНАГУ EXPERIENCE OF IMPLEMENTING PLM SOLUTIONS OF THE CONSORTIUM "RAZVITIE" IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF TRAINING FUTURE SHIPBUILDERS AT KNAGU**

Аннотация. В докладе представлен опыт внедрения PLM-решений консорциума «Развитие» в области судостроения в процесс подготовки студентов по направлению «Кораблестроение» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете. Рассматривается траектория подготовки будущих корабелов в области компьютерного моделирования и автоматизации производственных процессов. Предлагается концепция учебно-практической лаборатории «Виртуальная верфь», в качестве базы, как сквозного проектного обучения студентов, так и переподготовки специалистов судостроительных предприятий в рамках внедрения отечественных PLM-систем.

Abstract. The report presents the experience of implementing PLM solutions of the “RazvITie” consortium in the field of shipbuilding in the process of training students in the field of Shipbuilding at the Komsomolsk-na-Amure State University. The trajectory of training future shipbuilders in the field of computer modeling and automation of production processes is consid-

ered. The concept of the educational and practical laboratory "Virtual Shipyard" is proposed as a basis for both end-to-end project training of students and retraining of specialists of shipbuilding enterprises within the framework of the implementation of domestic PLM systems.

Ключевые слова: судостроение, CAD-системы, PLM-системы, компьютерное моделирование, автоматизация производственных процессов, обучение.

Keywords: shipbuilding, CAD systems, PLM systems, computer modeling, automation of production processes, training.

### **Введение**

Современный корабль представляет собой одну из самых сложных технических систем. В настоящее время разработка проектов современных судов в конструкторских бюро и их строительство на судостроительных предприятиях немислимо без современных информационных систем поддержки жизненного цикла изделия, в том числе систем компьютерного проектирования, анализа, систем автоматизации технологической подготовки и управления производством, объединенных в единый комплекс, т.е. без тяжелых специализированных PLM – комплексов. Для успешного функционирования таких комплексов на судостроительных предприятиях нужны и грамотные кадры.

Подготовка специалистов для судостроительной отрасли и в первую очередь для ПАО «Амурский судостроительный завод», в Комсомольском-на-Амуре государственном университете ведется с 1955 г на старейшей кафедре «Кораблестроение» (с сентября 2022 г. «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг» после объединения с кафедрой «САПР и инженерной графики»). В настоящее время на кафедре ведется подготовка бакалавров и магистров по направлению «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры».

Для судостроительных предприятий очень важно получать грамотных специалистов, готовых работать с современными информационными системами в области проектирования, конструкторского сопровождения и системами автоматизированной технологической подготовки и управления производством. Конечно, базовым инструментом с середины 90х-годов являлся AutoCAD, как проверенный годами «электронный кульман». Но это двухмерное черчение, а автоматизация производственных процессов на современном техническом уровне строится на «цифровой» модели судна – а это уже 3D моделирование.

### **Основная часть**

Перед коллективом кафедры стояла серьезная проблема по выбору единой PLM платформы, которая позволила бы обеспечить непрерывность подготовки по информационным технологиям в области кораблестроения. Необходим был продукт, который позволял бы закрывать как область судового машиностроения (рисунок 1), так имел бы специализированный инструментарий для моделирования судовых конструкций в составе такой сложнейшей сборки, как корабль (рисунок 3), а также его подсистем (судовые системы, судовые устройства и оборудование, элементы электрических систем, зашивки и изоляции, дельные вещи и т.п.). Кроме того он должен был обеспечивать автоматизацию оформления комплекта общей конструкторской документации (рисунок 2) и технологическую подготовку производства (рисунок 4). И самое главное – этот программный продукт должен был быть отечественной разработки.

Сложность состояла в том, что в отечественной судостроительной отрасли не существовало, как и пока не существует единого стандарта на программный инструментарий, как проектирования, так и технологической подготовки судостроительного производства. Кто-то разрабатывал свои отдельные информационные модули, кто-то приобретал зарубежные.

Выбор из отечественных САПР был не такой богатый, как из зарубежных аналогов, специализирующихся в области судостроения. Однако решения одной из крупнейших отечественных IT-компаний АСКОН выглядели более предпочтительными, так

как ее программные продукты Компас-3D, Лоцман, Полином, Вертикаль были востребованы на рынке судового машиностроения и широко использовались в производстве на крупнейших судостроительных предприятиях России [1]. Кроме того, появились публикации о практике моделирования судового корпуса в Компас-3D инструментами твердотельного моделирования [2], а уже в 19-й версии САД Компас-3D (2020 г.) были реализованы новые специализированные инструменты моделирования судовых корпусных конструкций и судовых систем [3].

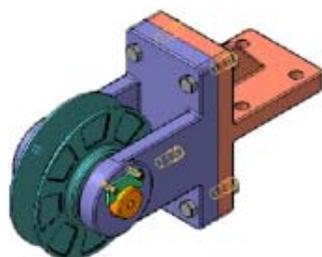


Рисунок 1 – Модель сборки в КОМПАС 3D

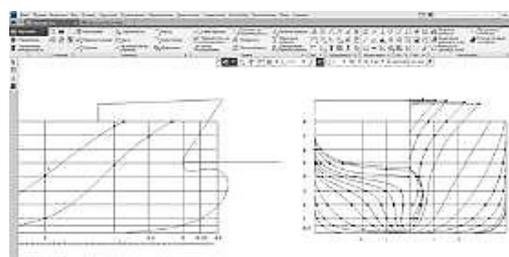


Рисунок 2 – Фрагмент теоретического чертежа в КОМПАС-График

Появившаяся в первом номере 2019 году публикация в журнале «Судостроение» [4] о принятии консорциумом «РазВИТие» дорожной карты разработки тяжелых PLM-систем, в том числе и области судостроения, вначале подтолкнула к проведению консультаций между КнАГУ и компанией АСКОН, а в дальнейшем и к подписанию в декабре 2019 года соглашения о стратегическом партнерстве в сфере подготовки инженерных кадров. Соглашение было подписано во время проведения семинара компании АСКОН в КнАГУ.

Соглашение о партнерстве в первую очередь было направлено на:

- обеспечение доступности лицензионных программных продуктов АСКОН;
- повышение уровня профессиональной подготовки преподавательского состава в области автоматизированного проектирования и управления жизненным циклом изделия;
- модернизацию и создание новых образовательных программ, включающих изучение и практическое использование современных систем автоматизированного проектирования и управления жизненным циклом изделия;
- стимулирование научно-технического творчества студентов.

В рамках данного соглашения Университету вначале были предоставлены временные лицензии на программные продукты компании АСКОН и их партнеров по консорциуму «РазВИТие», а в последующем были закуплены учебные комплексы КОМПАС-3D и приложений АРМ FEM (пакет инженерного анализа) и KompasFlow (пакет по расчету односредней гидро-газодинамике).

В целях повышения квалификации преподавателей, стало традицией проведение в университете ежегодных очных и онлайн семинаров по развитию судостроительных решений АСКОН в области судостроения. Также преподаватели кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг» принимают участие в мероприятиях IT-компаний, в том числе в конгрессе «День машиностроителя с АСКОН».

В рамках модернизации образовательных программ разрабатывается траектория подготовки будущих корабелов в области компьютерного моделирования и автоматизации производственных процессов, которая предполагает поэтапное внедрение решений компании АСКОН в учебный процесс по мере дозакупки программного обеспечения, освоения данным ПО преподавателям и разработки ими учебно-методических материалов для отдельных дисциплин.

Данная траектория подготовки студентов представляется следующей. На начальных этапах обучения, в рамках дисциплин «Инженерная графика в САД системах» и «Специальное судостроительное черчение» студенты осваивают общую технологию 3D

моделирования (см. рисунок 1), учатся «читать» чертежи верфи, знакомятся с требованиями к выполнению и оформлению судостроительных чертежей (см. рисунок 2).

Полученные знания студенты закрепляют во время прохождения учебных и производственных практик, а также применяют при выполнении расчетно-графических работ и курсовых проектов, в виде разработки 3D моделей и выпуска на их основе проектно-конструкторской документации узлов и агрегатов судовых устройств и систем (дисциплины: «Детали машин», «Судовые устройства», «Судовые системы» и др.).

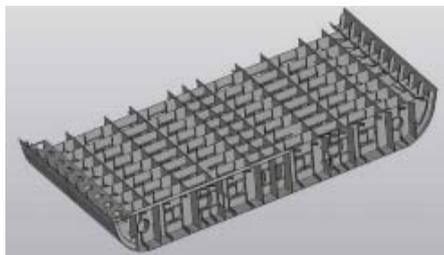


Рисунок 3 – 3D модель днищевой судовой секции

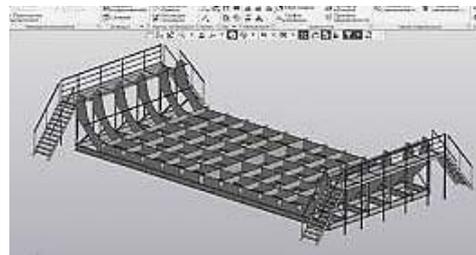


Рисунок 4 – 3D модель технологической оснастки – постели для сборки секции

По мере освоения специальных дисциплин студенты начинают разрабатывать более крупные и сложные конструктивные единицы, переходя от моделирования отдельных корпусных деталей к сложным сборкам в виде секций и блоков (см. рисунок 3). Параллельно, на основе разработанных моделей корпусных конструкций, студенты учатся разрабатывать технологические процессы и конструировать технологическую оснастку для их изготовления (см. рисунок 4), проводить инженерный анализ разработанных конструкций, оценивать проектные и функциональные качества объектов морской техники.

На уровне подготовки магистров в основном в учебный процесс внедряются уже PLM-решения консорциума «РазВИТие». Кроме программного обеспечения АСКОН (Компас-3D, Вертикаль и Лоцман) в учебном процессе используются приложения инженерного анализа АРМ FEM и расчетов гидродинамики KompasFlow.

Более глубокие знания студенты получают во время участия в работе студенческого конструкторского бюро (СКБ) «Компьютерные и инженерные технологии». В СКБ в рамках проектного обучения студенты выполняют индивидуальные или групповые проекты по разным направлениям исследований в области судостроения, в том числе: 3D моделирование морской техники; дизайн и интерьер морской техники; 3D моделирование судовой поверхности; инженерный анализ в АРМ FEM; исследование гидродинамики в KompasFlow и другие.

Результаты, полученные при выполнении проектов, студенты представляют на различных научно-практических конференциях, выставках и конкурсах. В том числе, работы студентов представляются и на конкурс компании АСКОН «Цифровой инженер». Проекты участников СКБ ежегодно становятся лауреатами данного конкурса (рисунки 5-6).

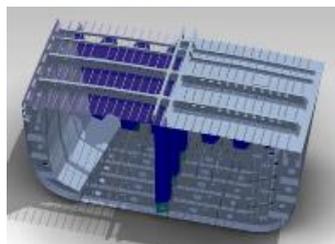


Рисунок 5 – 3D модель блок-секций

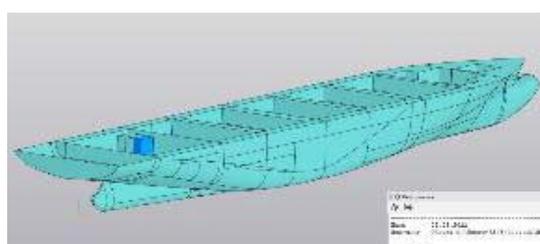


Рисунок 6 – 3D модель корпуса судна

Для ещё более глубокого внедрения в учебный процесс судостроительных PLM-систем в настоящее время ведется проработка проекта создания учебно-практической лаборатории «Виртуальная верфь». В настоящее концепция получила более конкрет-

ную формулировку и была представлена на международном форуме «Морской конгресс – Дальний восток», который проходил в г. Владивосток в мае 2024 г.

«Виртуальная верфь» – это «учебный полигон», представляющий собой комплекс аппаратного, программного и методического обеспечения, а также библиотеки учебных цифровых моделей, как судов, так и отдельных секций, оборудованных судовых помещений, судового оборудования, судовых устройств, дельных вещей и т.п. Основная цель проекта: обеспечение индивидуальной или командной работы по виртуальному моделированию как отдельных, так и сквозных процессов судостроительного производства.

#### **Заключение**

Конечно, задач по реализации проекта коллективу кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг» еще предстоит выполнить множество. Основные из них: создание отдельной лаборатории, укомплектованной современной компьютерной техникой; доукомплектование лаборатории программным обеспечением; разработка большого объема методического обеспечения; разработка библиотек цифровых макетов судов и их подсистем и др.

В настоящее время ведутся работы по разработке методического обеспечения учебного процесса. Часть данных работ в рамках проекта «Виртуальная верфь» будут выполнять магистры во время подготовки своих магистерских диссертаций, тематика которых связана с вопросами использования PLM-систем на различных этапах жизненного цикла корабля, в том числе и PLM-решений консорциума «РазвИТие».

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Петров, А.С. Решения АСКОН и опыт внедрения на предприятиях судостроения // Рациональное управление предприятием. – 2009. – № 3. – С. 42-46.
2. Как мы проверили судостроительные способности КОМПАС-3D (26 июня 2018 г.) / АСКОН : сайт. – Санкт-Петербург, 1989-2024 – . – URL [https://ascon.ru/news\\_and\\_events/news/2739/](https://ascon.ru/news_and_events/news/2739/) (дата обращения: 28.11.2024)
3. Петров, А. С. Новые инструменты консорциума "РазвИТие" для задач судостроения / А. С. Петров // Судостроение. – 2020. – № 6(853). – С. 41-43.
4. Доля зарубежного программного обеспечения должна быть снижена // Судостроение. – 2019. – № 1(842). – С. 67.

УДК 621.976.4

Загородний Алексей Евгеньевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zagorodniy Alexey Evgenievich, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Марьин Сергей Борисович, доктор технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Mariyn Sergey Borisovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОПЫТА ПО ПРИМЕНЕНИЮ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛЕПКИ НА АВИАСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ РОССИИ**

#### **ANALYSIS OF PRODUCTION EXPERIENCE IN THE USE OF AUTOMATIC RIVETING AT AIRCRAFT MANUFACTURING ENTERPRISES IN RUSSIA**

Аннотация. Проведен анализ производственного опыта по выполнению высокоресурсных заклепочных соединений при сборке авиационных панелей самолетов на основе нормативно-технических документов, действующих на авиационных предприятиях России при использовании заклепок с компенсатором с уменьшенной закладной голов-

кой, универсальными заклепками и заклепками с плоско-скругленной головкой на клепальных автоматах. На этапе постановки серийного производства изменения релизов происходят многократно, что увеличивает материальные и временные затраты в сборочном производстве.

Abstract. The analysis of production experience in the implementation of high-resource rivet joints in the assembly of aircraft aircraft panels based on regulatory and technical documents in force at Russian aviation enterprises using rivets with a compensator with a reduced embedded head, universal rivets and rivets with a flat rounded head on riveting machines. At the stage of mass production, changes in releases occur many times, which increases the material and time costs in assembly production.

Ключевые слова: автоматическая клепка, авиационные панели, заклепочные соединения, клепальный автомат.

Key words: automatic riveting, aviation panels, riveting joints, riveting machine.

### **Введение**

Для повышения усталостной прочности заклепочных соединений были разработаны высокоресурсные заклепки, при клепке которых обеспечивалось повышение уровня радиального натяга [1,2]. Применение высокоресурсного крепежа позволило повысить не только усталостные характеристики, но и герметичность соединения.

### **Основная часть**

Использование высокоресурсного крепежа потребовало изменения технологии выполнения заклепочных соединений, разработки нового и совершенствования ранее применявшегося технологического оборудования.

В настоящее время при выполнении высокоресурсных заклепочных соединений используются сверлильно-клепальные автоматы и автоматические установки.

Современное сверлильно-клепальное оборудование используется на ведущих авиастроительных предприятиях России. Например, при сборке самолетов SJ-100, МС-21, Ил-76М, Ил-78и др. Опыт применения современных клепальных автоматов накоплен на АО Авиастар-СП (г. Ульяновск), НАЗ им. Чкалова (г. Новосибирск), ПАО ВАСО (г. Воронеж), КнААЗ им. Ю.А. Гагарина (г. Комсомольск-на-Амуре) и др.

Производственный опыт по выполнению высокоресурсных заклепочных соединений при сборке авиационных конструкций на клепальных автоматах, накопленный до настоящего времени, содержится в нормативно-технических документах [3,4], действующих на авиационных заводах.

В инструкциях отмечено, что основным параметром технологического процесса клепки является радиальный натяг  $\Delta n$  в контрольном сечении, значение которого должно быть  $(2,2 \pm 0,5) \%$  в каждом заклепочном соединении для всего диапазона применяемых заклепок. Значение  $\Delta n$  в соединениях, как контролируемый параметр, не может быть определено прямым измерением в склепываемой панели, оно определяется косвенным способом на образце-свидетеле.

Фактическое значение натяга определяется по результатам измерения диаметров отверстий после их образования и диаметров расклепанных заклепок, извлеченных из образца-свидетеля.

Требуемое значение радиального натяга, как относительное увеличение диаметра отверстия стержнем расклепываемой заклепки, обеспечивается приложением к клепке определенного усилия клепки.

Технологическая последовательность выполнения продольно-поперечных швов на клепальном автомате включает в себя следующие основные операции [5]:

- установка в сборочное приспособление сборки панели деталей внутреннего набора и обшивки, с фиксацией штифтами по базовым отверстиям (БО);

- совмещение сборочных отверстий внутреннего набора и обшивки, установка технологических болтов (ТБ), обеспечивая плотную стяжку пакета в зоне технологического крепежа;
- последовательная замена ТБ на вытяжные заклепки (ВЗ) типа «TAPS»;
- извлечение предварительно собранной панели из сборочного приспособления и установка ее на паллету, базируя панель по БО в технологических фестонах, притянуть панель прижимными лентами к обводам ложементов;
- установка паллеты на раму позиционера клепального автомата;
- настройка режимов клепальной головки автомата на технологических образцах;
- в соответствии с маршрутом клепки по программе установка заклепок по местам расположения ЗФС, начиная с установленной ВЗ по типу «TAPS»;
- клепка по программе участков продольно-поперечных заклепочных швов панели в соответствии с рабочими маршрутами клепки;
- фрезерование выступающей части потайных головок заклепок;
- контроль качества заклепочных соединений.

Маршруты клепки панелей разрабатываются из условия обеспечения наименьших отклонений внешнего обвода и контура панели от первоначально полученных в сборочном приспособлении на этапе предварительной сборки, а также из условия снижения трудоемкости сборочных работ.

Маршрут клепки представляет собой последовательность обработки швов (рисунков 1) с указанием начальных и конечных точек, мест установки крепежа и направлений перемещений инструмента.

Следует отметить, что в рассмотренных инструкциях представлен опыт обработки элементов конструкции планера самолета с доступными зонами для выполнения работ, но практически не отражены особенности выполнения автоматической клепки в зонах соединений элементов конструкции и труднодоступных местах.

На первых опытных изделиях наблюдались существенные отклонения внешней поверхности обшивки от теории, которые значительно выходили за рамки допуска, эти отклонения приводили, в основном, к выходу обшивки из теоретической поверхности путем изгиба в нормальной плоскости. Для панелей наблюдались недопустимые прогибы также в касательной плоскости.

Одним из эффективных технологических приемов снижения отклонений поверхности панелей является предложение использования оптимальных маршрутов клепки для каждой сборочной единицы, что обеспечило наименьшие отклонения внешнего обвода.

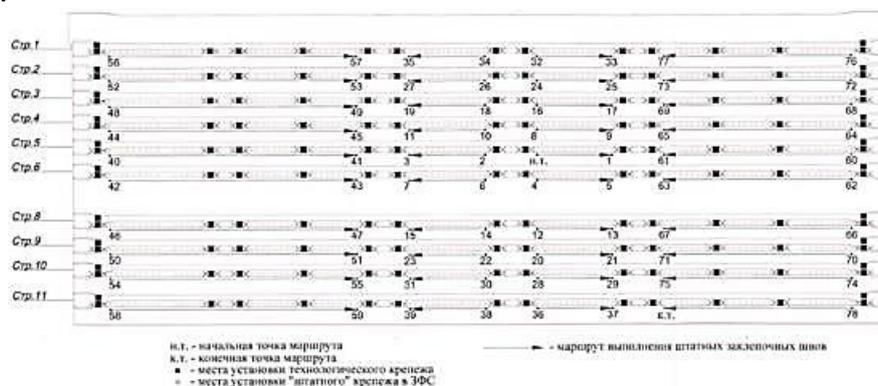


Рисунок 1 – Пример маршрута клепки верхней панели центроплана самолета SJ- 100

Недостатком такого определения несоответствий по отклонению геометрических параметров являются большие материальные и временные затраты, связанные с существенным изменением релиза панелей и внутреннего набора. На этапе постановки серийного производства изменения релизов происходят многократно.

Тем не менее, решение проблемы обеспечения геометрических параметров авиационных конструкций, влияющих на аэродинамические обводы самолетов, относится сейчас к основным производственным проблемам производства изделий SJ-100, MC-21 и других самолетов. Острота этой проблемы возрастает с переходом изготовления обшивок по последним релизам, которые существенно отличаются от предыдущих релизов.

### **Заключение**

Проведен анализ производственного опыта по выполнению высокоресурсных соединений универсальными заклепками при сборке авиационных конструкций самолетов SJ-100, MC-21 на клепальных автоматах. Выявлены проблемы на этапе постановки серийного производства, как следствие, многократное изменение релизов, что увеличивает материальные и временные затраты в сборочном производстве.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Современные технологии авиастроения / Коллектив авторов; под ред. А.Г. Братухина, Ю. Л. Иванова. – Москва: Машиностроение, 1999. – 832 с.
2. Марьин, Б. Н. Технологическое обеспечение аэродинамических обводов современного самолета / Б. Н. Марьин, В. И. Меркулов, В. Ф. Кузьмин [и др.]. – Москва : Машиностроение, 2001. – 432 с.
3. ПИ 03-266-21 «Выполнение высокоресурсных заклепочных соединений в панелях фюзеляжа самолетов семейства RRJ на клепальном автомате IPAC». Москва: ПАО «Корпорация «Иркут» Филиал «Региональные самолеты». 2021. – 45 с.
4. ПИ 03-367-21 «Выполнение высокоресурсных заклепочных соединений универсальными заклепками (УЗ) в панелях ОЧК и центроплана самолетов семейства RRJ на клепальном автомате IPAC». Москва: ПАО «Корпорация «Иркут» Филиал «Региональные самолеты». 2021. – 67 с.
5. Ярковец, А. И. Технология выполнения высокоресурсных заклепочных и болтовых соединений в конструкциях самолетов/ А. И. Ярковец, О. С. Сироткин, В. А. Фирсов [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1987. – 191 с.

УДК 656.01

Ким Надежда Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kim Nadezhda Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Гуенькова Ольга Владимировна, старший преподаватель кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Gunkova Olga Vladimirovna, Senior Lecturer of the Department «Shipbuilding and Computer Engineering», Komsomolsk-na-Amure State University

### **ОБЗОР МИРОВЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ – «ГРУЗОВЫХ ДЕРЕВЕНЬ» OVERVIEW OF THE WORLD'S LOGISTICS CENTERS – «CARGO VILLAGES»**

Аннотация. В данной работе приводится обзор крупных логистических центров в мире в уникальном формате – «грузовая деревня». Рассматриваются проекты грузовых деревень в следующих странах: Соединенные Штаты Америки, Германия, Испания, Италия и Россия. В России проект грузовой деревни представлен группой компаний Фрейт Вилладж.

Abstract. This paper provides an overview of major logistics centers in the world in a unique format – "cargo village". Projects of cargo villages in the following countries are being considered: the United States of America, Germany, Spain, Italy and Russia. In Russia, the freight village project is presented by the FreightVillage Group of companies.

Ключевые слова: логистические центры, грузовая деревня, мультимодальные центры, контейнерный терминал, складской комплекс.

Key words: logistics centers, cargo village, multimodal centers, container terminal, warehouse complex.

### **Введение**

В связи с увеличением грузовых перевозок в мире растет необходимость создания логистических центров, которые объединяют в себе крупные складские комплексы. В Транспортную стратегию России до 2030 года включен проект «Грузовая деревня».

Термин «грузовая деревня» обозначает мультимодальный логистический центр с различной транспортной инфраструктурой, вблизи или на территории которого имеется интермодальный терминал и оказывающий различного рода услуги. Целью проекта грузовых деревень является сокращение периода поставок груза с минимальными издержками. Это достигается путем сосредоточения в одном месте производства, распределения, консолидации товаров и таможенного пункта.

В данной работе приводится обзор крупнейших логистических центров в различных странах: Соединенные Штаты Америки, Испания, Италия, Германия и Россия.

В России группа компаний Фрейт Вилладж ру реализует проект в уникальном формате «грузовая деревня» – это один из крупнейших мультимодальных производственно-логистических центров.

### **Основная часть**

Проекты грузовых деревень в мире развиваются достаточно давно. Одним из крупнейших проектов является AllianceTexas в Соединенных Штатах Америки. Площадь данной грузовой деревни около 7,5 тысяч гектар. Деревня включает в себя логистический и корпоративный центр, жилой район. Логистический центр, в свою очередь, состоит из мультимодального внутреннего порта, грузового аэропорта, интермодального терминала с доступом к железным дорогам, шоссе и внешнеторговой зоне. На территории AllianceTexas функционирует более 260 компаний и известные производители бытовой техники, автомобилей, продуктов питания и другие. Так же данный логистический центр оказывает разнообразные дополнительные услуги: общественный транспорт, круглосуточная охрана, телекоммуникационная связь, пункты общественного питания, детские сады, офисы, гостиницы, банковское дело, почта и многое другое.

В Европе функционирует около 240 грузовых деревень, например, в Испании, Италии и Германии. Испанская грузовая платформа Logistics Platform of Zaragoza (PLAZA) расположена между шестью городами, занимает площадь примерно 1,5 тысячи га. Территория грузовой деревни делится на несколько зон: железнодорожный и воздушный транспорт, промышленный, коммерческий и социальный сектор. Данный центр функционирует для слаженной работы транспортно-логистических элементов транспортировки грузов.

В Италии насчитывается двадцать пять грузовых деревень, самой крупнейшей является Bologna Freight Village площадью примерно 350 га, которая находится между автомобильными и железнодорожными путями сообщения. Через грузовую деревню Bologna Freight Village проходит около двадцати процентов международного транспортного потока (грузы со Скандинавского полуострова и из прибалтийских стран) и чуть более трети грузов итальянского производства.

В Германии самая развитая сеть грузовых деревень, там расположено 38 таких логистических центров, три из них находятся возле Берлина.



Рисунок 1 – Грузовые деревни в Италии и Германии

В России проекты в формате грузовой деревни представлены группой компаний Фрейт Вилладж и реализуются больше десяти лет.

Логистические центры Фрейт Вилладж Ворсино и Фрейт Вилладж Росва находятся в Калужской области.

Фрейт Вилладж Ворсино – это проект федерального формата, расположившийся вдоль федеральной трассы Москва – Киев, в 70 км от Московской кольцевой автомобильной дороги и занимающий 570 гектаров.



Рисунок 2 – Схема расположения Фрейт Вилладж Ворсино

Преимущества ФВ Ворсино: близость к Новой Москве, находится на пересечении основных магистралей, примыкает к железнодорожной станции Ворсино, рядом находятся сортировочная станция Бекасово и аэропорт «Ермолино».

На территории ФВ Ворсино имеется: контейнерный терминал, мультимодальная зона таможенного контроля, складские комплексы, промышленная территория для производственно-складских объектов, территория для резидентов. На участке проложены основные инженерные коммуникации: построено 10 км собственных автодорог IV категории, электроснабжение, газоснабжение, водоснабжение, ливневая канализация, водоотведение.

Ворсино обладает складами кросс-докинга класса А. Кросс-докинг – это процесс приемки и отгрузки грузов через склад напрямую, без размещения в зоне длительного хранения.

Контейнерный терминал площадью 39 га имеет 6 железнодорожных путей, контейнеровместимостью шесть тысяч двадцатифутовых контейнеров и четыре тысячи. Пропускная способность составляет около трехсот пятидесяти тысяч контейнеров. На терминале функционируют ричстакеры Кальмар и козловые краны Либхер.

Фрейт Вилладж Росва – это проект межрегионального формата, расположившийся в 190 км к юго-западу от МКАД, 20 км от г. Калуга, 6 км от федеральной трассы М3 Москва-Киев, на территории индустриального парка Росва, в 5 км от железнодорожной станции Воротыньск.



Рисунок 3 – Фрейт Вилладж Росва

На территории ФВ Росва имеется контейнерный таможенный терминал площадью 14 га, контейнеровместимостью 2500 TEU, пропускной способностью 150 000 TEU в год. Погрузочная техника на терминале ричстакеры Kalmar.

Так же на территории ФВ Росва расположился автомобильный таможенный терминал общей площадью 5 га. Автомобильный терминал оборудован специальной грузоподъемной техникой, весовым оборудованием, системой контроля радиоактивности и досмотровым / рентгеновским комплексами.

#### **Заключение**

Логистические центры в формате грузовой деревни необходимо создавать в районе крупных транспортных узлов Транссибирской магистрали: Москва – Уфа – Екатеринбург – Новосибирск – Иркутск – Хабаровск – Владивосток. Такая сеть грузовых деревень будет координировать всех участников транспортного процесса в регионах, позволит уменьшить логистические издержки, увеличит эффективность предоставления транспортно-логистических услуг и создаст систему управления транспортными потоками.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Дроздова, Е. И. «Грузовая деревня» – современная модель организации инфраструктуры транспортно-логистических центров / Е. И. Дроздова, Н. А. Клычёва. // Молодой ученый. – 2022. – № 35 (430). – с. 82-83.
2. Левкин, Г.Г. Коммерческая логистика : учебное пособие для вузов / Г.Г. Левкин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 375 с. // Юрайт : электронно-библиотечная система. – . – URL: <https://urait.ru/bcode/472029> (дата обращения: 22.11.2024). – Режим доступа: по подписке.

УДК 662.99

Ключин Константин Николаевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Klyushin Konstantin Nikolaevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Баранов Евгений Витальевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Baranov Evgeny Vitalievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ГОРОДА КОМСОМОЛЬСКА-НА-АМУРЕ INVESTIGATION OF HEAT LOSS REDUCTION IN RESIDENTIAL BUILDINGS IN KOMSOMOLSK-NA-AMURE**

Аннотация. В условиях сурового климата города Комсомольска-на-Амуре с длительными и холодными зимами особое значение приобретает поддержание климата в жилых помещениях. Количество тепла, требуемое на отопление зимой, выше всех остальных потребляемых человеком энергетических потоков. Применение различных меро-

приятый, способов и устройств поможет снизить количество потребляемой тепловой энергии.

Abstract. In the harsh climate of Komsomolsk-na-Amure with long and cold winters, maintaining the climate in residential areas is of particular importance. The amount of heat required for heating in winter is higher than all other energy flows consumed by humans. The use of various measures, methods and devices will help reduce the amount of thermal energy consumed.

Ключевые слова: энергоэффективность, тепловая защита, отопление, изоляция зданий, повышение термического сопротивления.

Keywords: energy efficiency, thermal protection, heating, insulation of buildings, increase in thermal resistance.

### **Введение**

Особенностью климата города Комсомольска-на-Амуре являются холодные, суровые и длительные зимы. Средняя температура в течение самого холодного месяца (января) равна - 24°C. Для сравнения, в центральной части России средняя температура в январе составляет -9°C. Для поддержания комфортного климата внутри жилых зданий приходится затрачивать огромные потоки тепловой энергии. В это время ТЭЦ города генерируют потоки тепловой и электрической энергий, причем, если их сравнить, то величина потока тепловой энергии будет выше потока электрической. Эта тепловая энергии в виде горячей воды, нагретой в соответствии с теплофикационным графиком, подается в трубы системы центрального отопления и поступает в жилые дома. Через радиаторы, расположенные в каждой квартире, вышеуказанная тепловая энергия поддерживает комфортную температуру в жилых помещениях. Далее этот поток энергии через стены зданий, окна, фундамент, крышу уходит в окружающую среду. Величина тепловых потерь помещений определяет значение теплового потока, необходимого для поддержания требуемой температуры. Поэтому, если реконструировать существующие дома или строить новые по определенному набору рекомендаций, то возможно значительно снизить требуемый тепловой поток и повысить энергоэффективность отопления.

### **Основная часть**

Увеличить тепловую энергоэффективность зданий можно следующими способами (некоторые из которых применимы для уже построенных домов):

- проектирование новых зданий по возможности с минимальной площадью стен по отношению к площади помещений;
- применение специальных материалов стен, фундамента, крыши с низким коэффициентом теплопроводности;
- применение стенового слоя изоляции с материалом, обеспечивающим основное термическое сопротивление конструкции;
- учет возможности использования климатических особенностей местности для максимального использования энергии солнца и снижения воздействия движения воздушных масс при строительстве новых зданий;
- использование окон специальных конструкций с низким коэффициентом термического сопротивления, в том числе нанесение специальных покрытий на стекла, способствующих отражению низкотемпературного теплового излучения;
- использование вертикальных и горизонтальных солнцезащитных устройств для окон, помогающих уменьшать поток солнечной радиации в летнее время;
- в условиях длительных минусовых температур окружающей среды предусматривать минимальное количество окон на северной стороне, используя эти помещения в качестве кладовых, хозяйственных помещений и др.;
- устранение «мостиков» тепла, способствующих быстрому выводу и рассеиванию тепловой энергии из здания;

- организация альтернативной вентиляции: окна, особенно в холодное время года, должны быть постоянно закрыты, а вентиляцию производится через теплообменник, в котором холодный свежий воздух будет нагреваться от тепла удаляемого воздуха;

- остекление балконов и лоджий, увеличивающее термическое сопротивление здания;

- применение системы низкотемпературного отопления, которое, с одной стороны, повысит топливную экономичность ТЭЦ, а с другой стороны, приведет к снижению тепловых потерь в системе транспортирования тепловой энергии за счет более низких температур теплоносителя;

- применение тепловых насосов, которые будут «транспортировать» тепло из окружающей среды (воздуха, окружающих водоемов, грунта) или из теплых канализационных стоков, что поможет отказаться от центрального отопления или позволит существенно сократить расход тепловой энергии;

- применение солнечных коллекторов, располагаемых на крыше здания, что, в дополнение к тепловым насосам, поможет обеспечить дополнительный поток тепла или позволит обеспечить потребность здания в горячей воде (последнее осуществимо только в теплое время года при наличии высокой инсоляции);

- использование бака-аккумулятора горячей воды, способного накапливать избытки тепловой энергии днем от солнечных коллекторов, либо ночью от теплового насоса, который будет потреблять электрическую энергию по ночному тарифу;

- задействование внешнего теплообменного контура теплового насоса в грунте или в водоеме, что поможет летом охлаждать здание без существенных электрических затрат;

- установка солнечных панелей на крыше или стенах здания с целью генерирования электроэнергии и использования ее для нужд технического оборудования или жителей дома; избытки при этом можно аккумулировать в электрических аккумуляторах или через тепловой насос закачивать в аккумулятор тепловой энергии;

- полная автоматизация всех систем (освещения, отопления, вентиляции, кондиционирования, горячего водоснабжения), что будет обеспечивать их работу в режиме максимальной надежности и минимального энергопотребления.

Применение и реализация хотя бы части вышеуказанных рекомендаций поможет значительно, в разы, уменьшить тепловые потери жилых помещений. Ниже подробно остановимся на ряде этих рекомендаций.

Стены современных зданий должны обладать высокими значениями термического сопротивления. Данных условий возможно достичь применением композитных стен, в которых сочетаются несколько материалов, обладающих уникальными свойствами для реализации того или иного требуемого эффекта. Например, кирпичная стена обладает коэффициентом теплопроводности  $0,7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ , железобетонная плита –  $1,7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ , а специализированный изоляционный материал, такой как вспененный пенополистирол –  $0,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ . В разрезе защиты от потерь тепла, кирпичная стена метровой толщины будет аналогична железобетонной плите толщиной  $2,43$  метра или пенополистиролу толщиной  $57$  мм. Из этого примера наглядно видно, что для обеспечения прочности конструкции здания должны применяться одни материалы, для влаго- и пароизоляции другие, а для снижения тепловых потерь третьи. Современное здание, построенное с соответствующими теплоизоляционными материалами стен, или применение тепловой изоляции с такими материалами уже построенных зданий не только поможет снизить поток тепловой энергии, требуемый для обеспечения климата, но и повысит тепловую безопасность здания. Если панельный дом в зимних условиях, построенный в 70-80-х годах прошлого столетия, отключить от отопления, то менее чем за сутки температура внутри помещений опустится ниже нуля, а для современных энергоэффективных зданий такое состояние наступит на третьи - четвертые сутки.

Увеличение количества стекол в оконных блоках делает их более дорогими, а также менее удобными и надежными в эксплуатации, поэтому оптимальным количе-

ством стекол в стеклопакете является 3-4. Дальнейшее увеличение термического сопротивления возможно, например, путем замены воздуха между стеклами на менее теплопроводящий аргон. Но и это не приведет к значительному уменьшению теплопотерь в окнах, так как большая доля энергии теряется с помощью теплового низкотемпературного излучения через стекла. Здесь поможет нанесение специального слоя, обладающего свойством отражения значительной части теплового излучения инфракрасного диапазона спектра, что обеспечит более высокие энергоэффективные качества окон.

Для получения тепловой энергии из электрической следует использовать тепловые насосы. Важным параметром эффективности работы теплового насоса является отношение перекачиваемой тепловой энергии к потребляемой электрической. При этом большие значения этого отношения получатся при минимальной температурной разнице между горячей и холодной средами. Поэтому зимой эффективнее «перекачивать» тепловую энергию из грунта, грунтовых вод, рек и водоемов, чем забирать ее от окружающего воздуха, так как температура первых составляет  $+5^{\circ}\text{C} \dots - 5^{\circ}\text{C}$ , а воздуха  $- 30^{\circ}\text{C}$  и меньше. Также, при подаче тепла в радиаторы нужна высокая температура теплоносителя для обогрева помещения, а если использовать низкотемпературное отопление, то эффективность теплового насоса вырастет, но теплообменники в помещении должны иметь большие площади для компенсации малого температурного напора (например, радиатор с системой напольного отопления). Другим источником тепла могут стать теплые стоки канализационных вод, имеющие температуру до  $20^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ .

#### **Заключение**

При проектировании зданий следует иметь в виду, что комбинирование рассмотренных выше способов, может усилить эффект от их применения. Например, увеличение термического сопротивления стен и окон здания в 3 раза в комбинации с отопительной системы, в 3 раза более экономичной, позволит уменьшить в 9 раз потребление энергии, необходимой для поддержания климата. Использование данных решений позволит существенно уменьшить потребление первичных источников энергии и нивелировать вред природе, наносимый продуктами сгорания углеводородного топлива.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Алоян Р.М., энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения / Р.М. Алоян, С.В. Федосов, Л.А. Опарина – Иваново: ПресСто, 2016. – 276 с
2. Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях /А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. – М.: Машиностроение, 2011. – 374 с.

УДК 620.92

Ковалев Виктор Викторович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kovalev Viktor Viktorovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Баранов Евгений Витальевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Baranov Evgeny Vitalievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ОТСУТСТВИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ENERGY-EFFICIENT METHODS OF HEATING BUILDINGS IN THE ABSENCE OF DISTRICT HEATING**

Аннотация. В работе рассмотрены различные способы, позволяющие поддерживать комфортную температуру внутри зданий и сооружений зимой, в условиях отсутствия централизованного теплоснабжения. Для каждого способа указаны их основные достоинства и недостатки, особенности, принцип действия и границы их энергоэффективно-

сти. Приведены необходимые потоки энергии для обогрева зданий вышеуказанными способами.

Abstract. The paper considers various ways to maintain a comfortable temperature inside buildings and structures in winter, in the absence of centralized heat supply. For each method, their main advantages and disadvantages, features, principle of operation and limits of their energy efficiency are indicated. The necessary energy flows for heating buildings by the above methods are given.

Ключевые слова: теплоснабжение, энергоэффективность, тепловые насосы, теплообменные аппараты, обогрев.

Keywords: heat supply, energy efficiency, heat pumps, heat exchangers, heating.

### **Введение**

Территория Российской Федерации расположена в северной части континента Евразии. Из-за особенностей климата земли зимние температуры большей части территории России находятся в среднем в пределах  $-15^{\circ}\text{C} \div -50^{\circ}\text{C}$ . Долгие холодные зимы и невысокие значения солнечной инсоляции приводят к большому потреблению тепловой энергии на отопительные цели. Основная часть жилого фонда в России построена в середине и конце прошлого века, во времена СССР, когда нормы на тепловую защиту зданий были относительно небольшими. Все это приводит к исключительной важности тепловой энергии, необходимой для поддержания климата в помещениях, в сравнении с другими странами, имеющими более новые, совершенные в тепловом смысле здания, или находящимися в районах с более мягким климатом. Величина потока тепловой энергии, необходимого для этих целей, из-за описанных выше особенностей достаточно велика.

### **Основная часть**

В случае возможности подключения здания к системе централизованного теплоснабжения, пользователи получают стабильный поток тепловой энергии, простоту его использования вне зависимости от погодных условий, отсутствие взрывоопасного теплового оборудования и топлива. Но в ряде случаев необходимо генерировать тепловую энергию непосредственно в самом здании или поблизости.

Ниже авторы приведут способы получения потока тепловой энергии для обогрева зданий.

Самым простым способом поддержания климата в помещении зимой является применение котлов на углеводородном топливе (дровах, природном газе, нефти или угле). Данный способ получил в России наибольшее распространение в связи с простотой, отработанными и надежными конструкциями котлов, низкой стоимостью и высокой доступностью углеводородного топлива, высокой степенью автоматизации теплового оборудования. Суть способа состоит в сжигании (окислении) углеводородного топлива, и передаче тепловой энергии, получаемой в процессе сжигания, теплоносителю, циркулирующему в системе отопления. Помимо котла, в котором непосредственно происходит сжигание топлива и передача энергии теплоносителю, необходимы следующие системы и оборудование:

- система топливopодготовки для транспортировки и подготовки топлива;
- насосы, воздуходувки, трубы, запорная арматура и другое оборудование для организации циркуляции сред и теплоносителей;
- теплообменники для передачи энергии в здание;
- система автоматизации для поддержания заданных параметров, бесперебойной и экономичной работы оборудования;
- и другое оборудование.

Другим простым способом обогрева зданий будет считаться электрообогрев зданий путем применения электрокотлов, конвекторов, обогревателей, то есть устройств, непосредственно конвертирующих электрическую энергию в тепловую.

Данное оборудование может устанавливаться непосредственно в здании, где требуется тепловая энергия, которая посредством циркулирующего теплоносителя распределяется по зданию. Мощность и количество электрических обогревателей при этом рассчитывается по потребностям. Также возможно иметь в здании один электродкотел и систему труб и радиаторов для переноса тепловой энергии. Данный способ часто применяется в качестве резервного и отличается простотой и минимальной стоимостью оборудования, с одной стороны, и наименьшей энергетической эффективностью и, соответственно, наибольшей стоимостью энергии, с другой.

Модернизацией данного способа будет являться переход на двухтарифную (день-ночь) систему учета электроэнергии и применение в отапливаемой системе бака-аккумулятора тепловой энергии. Принцип действия данной системы будет следующий. В течение действия ночного тарифа (с минимальной стоимостью) электродкотел нагревает теплоноситель не только для текущего обогрева здания, но и повышает температуру теплоносителя в баке-аккумуляторе. Сам бак-аккумулятор теплоизолирован для уменьшения тепловых потерь и заполнен теплоносителем. Днем, во время действия более дорогого тарифа на электроэнергию, электродкотел отключается, а источником тепловой энергии будет прогретый теплоноситель в баке-аккумуляторе, который, циркулируя по системе отопления, охлаждается, отдавая свою тепловую энергию зданию. Таким образом, стоимость отопления может снижаться в несколько раз по сравнению с предыдущим способом, но общий объем потребляемой электроэнергии только возрастет на величину тепловых потерь в баке-аккумуляторе.

Использование энергии солнечного излучения позволит полностью или частично отказаться от других способов генерации тепловой энергии. Значительная часть территории России характеризуется достаточно низкими зимними температурами, но при этом поток солнечной энергии зимой достаточно велик. Например, Хабаровск находится южнее Парижа или большей части территории Германии, в котором средние температуры зимой плюсовые. Если говорить об абсолютных значениях солнечной энергии, падающей в течение января на горизонтальную площадку, расположенную в районе Хабаровске, то это значение будет около  $0,04 \text{ Гкал/м}^2$ . Таким образом, на крышу здания площадью, например,  $1000 \text{ м}^2$  будет поступать солнечная радиация в количестве около 40 Гкал, или, при пересчете на условное топливо – 5714 кг.у.т. Конвертировать этот поток солнечной радиации в тепловую энергию теплоносителя возможно при помощи специальных устройств, называемых солнечными коллекторами. Существует два основных типа солнечных коллекторов – плоские и вакуумные. Плоские отличаются простотой конструкции, низкой стоимостью и невысоким КПД, поэтому в условиях большого перепада температур между горячим теплоносителем и холодной окружающей средой более рационально использовать вакуумные солнечные коллекторы. При нанесении на трубки коллекторов специального селективного покрытия, отражающего длинноволновое (низкотемпературное) тепловое излучение, их КПД может достигать в определенных случаях 80-85%. Современному зданию, покрытому слоем изоляции и использующим современные энергоэффективные способы сбережения тепла, этого потока солнечной энергии, конвертируемого в тепловую, может хватить для отопления. Но для случаев низких температур окружающей среды и/или уменьшения потока солнечного излучения (при наличии облачности) следует параллельно использовать другие способы отопления, которые будут дополнять поток солнечной энергии.

Энергию потока ветра также возможно использовать для отопления зданий. Ветряки, установленные в непосредственной близости от здания, будут генерировать электрическую энергию, которая через тепловые нагревательные приборы будет поддерживать микроклимат в помещении. Для отопления по данному типу важной величиной является средняя скорость ветра, так как получаемая электрическая мощность зависит от нее в третьей степени.

Применение тепловых насосов в сочетании с некоторыми предыдущими способами позволит либо увеличить выработку тепловой энергии, либо, при неизменной величине теплового потока, уменьшить потребление энергии. В природе возможна передача тепловой энергии только от более горячих тел к более холодным, но тепловые насосы, потребляющие механическую или электрическую энергию, могут «повернуть природный закон вспять» и заставить отдавать тепло от более холодных тел к более горячим. Причем поток перекачиваемой тепловой энергии будет в несколько раз больше, чем потребляемая механическая или электрическая энергия. Тут все будет зависеть от температур горячей и холодной сред. Поэтому использование теплового насоса вместо разнообразных электрических котлов и электрообогревателей всегда будет более выгодным в плане количества потребляемой энергии. Сочетание теплового насоса с двухтарифным счетчиком электроэнергии, баком аккумулятором тепловой энергии или ветряками, вырабатывающими электроэнергию, будет повышать энергоэффективность данных способов теплоснабжения.

Еще сильнее увеличить энергоэффективность теплоснабжения с помощью тепловых насосов можно за счет уменьшения разности температур между холодной и горячей средой. Например, если «перекачивать» тепло зимой от воздуха, температура которого, например, в январе будет  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в помещение, которое нагрето до  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тепловой насос будет вынужден преодолевать разницу температур в  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Но если в тот же самый момент использовать для обогрева помещений не холодный январский воздух с температурой  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а тепло воды из близлежащего водоема с температурой  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то в этом случае тепловому насосу потребуются преодолевать разницу температур в  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  и его энергоэффективность, то есть отношение перекачиваемого потока тепловой энергии к потребляемой электрической энергии, также вырастет. Если рядом нет водоемов или они замерзают, то можно воспользоваться теплом грунтовых вод. Для этого на некотором расстоянии бурятся две скважины, из которых берется вода, охлаждается на несколько градусов, но не ниже температуры кристаллизации воды, и затем закачивается во вторую скважину. Тепло, отнятое у грунтовых вод, передается с помощью теплового насоса теплоносителю, циркулирующему в системе теплоснабжения. Также существует возможность использовать тепло грунта путем закапывания в нем на определенной глубине закрытой системы труб и прокачивания через эту систему теплоносителя, который, нагреваясь, поступает в тепловой насос, находящийся в здании, и отдает затем свое тепло потребителю. При этом уровень температур грунта земли будет всегда выше температуры воздуха зимой, что позволит работать тепловому насосу с более высокой энергоэффективностью.

Можно обогревать здание, применяя бензиновый или дизельный генератор. Суть способа состоит в непосредственной выработке электроэнергии генератором ДВС, но при этом еще используется тепло системы охлаждения ДВС, которое передается в систему отопления здания. Повысить тепловую эффективность данного способа возможно, еще дополнительно охлаждая выхлопные газы ДВС и передавая полученное тепло в систему отопления здания. В данном случае, применяя совместно ДВС и тепловой насос и сжигая топливо в количестве  $X$  калорий, можно получить тепловой энергии в 1,5-3 раза больше, чем полученное тепло от сгорания топлива.

### **Заключение**

Современные способы отопления зданий, с применением тепловых насосов, позволяют получать больше тепловой энергии, чем от прямой конвертации электрической или химической энергий в тепловую, но большое количество оборудования и его высокая стоимость снижают экономическую целесообразность многих способов. Поэтому с другой стороны надежным, простым и дешевым всегда остается альтернатива отопления зданий путем сжигания углеводородного топлива в котле с последующим переносом тепла теплоносителем по зданию.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кудинов, А.А. Зиганшина, С.К. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. -М.: Машиностроение, 2011. – 373с.
2. Данилов, О.Л. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. Учебник для вузов / Данилов, О.Л., Гаряев, А.Б., Яковлев, И.В., Клименко, А.В., Вакулко, А.Г. - М.: Издательский дом МЭИ, 2011.- 423 с.

УДК 621.18

Корнеева Лилия Александровна, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Korneeva Lilya Aleksandrovna, magistrant of Komsomolsk-na-Amure State University

Смирнов Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Smirnov Aleksey Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПЕРСПЕКТИВНАЯ СХЕМА ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ С ВНУТРИЦИКЛОВОЙ ГАЗИФИКАЦИЕЙ УГЛЯ ДЛЯ АМУРСКОЙ ТЭЦ-1 A PROMISING SCHEME OF A COMBINED CYCLE GAS PLANT WITH IN-CYCLE COAL GASIFICATION FOR AMUR CHPP-1**

Аннотация. Разработка и внедрение парогазовых установок в теплоэнергетической отрасли России является, согласно Прогнозу научно-технологического развития топливно-энергетического комплекса России, на период до 2035 года, перспективным направлением. Соответственно, представляют интерес и вопросы, связанные с проектированием, применением и эксплуатацией таких установок. При этом, одним из перспективных видов парогазовых установок считается установка с внутрицикловой газификацией угля. Для угольных тепловых электростанций это направление представляет несомненный интерес.

Abstract. According to the Forecast of scientific and technological development of the fuel and energy complex of Russia for the period up to 2035, the development and implementation of combined-cycle gas installations in the heat and power industry of Russia is a promising direction. Accordingly, issues related to the design, application and operation of such installations are of interest. At the same time, one of the promising types of combined-cycle gas plants is considered to be an installation with in-cycle coal gasification. For coal-fired thermal power plants, this area is of undoubted interest.

Ключевые слова: тепловые электрические станции, парогазовая установка, внутрицикловая газификация.

Keywords: thermal power plants, combined cycle gas plant, in-cycle gasification.

### **Введение**

Тепловая энергетика в средне- и, вероятно, долгосрочной перспективе сохраняет основную долю по объему вырабатываемой электрической и тепловой энергии среди энергетических предприятий нашей страны. Прогноз научно-технологического развития топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года предусматривает в области развития электроэнергетики соответствующие направления, предусматривающие как совершенствование действующих теплоэнергетических установок, так и разработку, и внедрение новых или модернизированных эффективных теплоэнергетических установок. Так, в долгосрочной перспективе предусматривается разработка парогазовых установок (ПГУ) с внутрицикловой газификацией угля с КПД до 51-54 % [1]. В связи с этим, актуальным представляются вопросы, связанные с разработкой та-

ких установок, оценкой эффективности их работы, оценке возможности внедрения таких установок на действующих угольных электростанциях.

### Основная часть

Парогазовые установки с внутрицикловой газификацией угля сегодня менее распространены по сравнению с другими видами ПГУ, например, ПГУ с утилизационным котлом. Это объясняется особенностями организации технологического цикла установки с газификацией угля, а также определенными недостатками схемы, указанными в работе [2]. Тем не менее, вопросы газификации угольного топлива весьма перспективны, так как открывают новые возможности по использованию угольного топлива, улучшению экологических показателей и др. Особенно это важно для тех тепловых электростанций, которые не могут отказаться от угольного топлива.

В настоящей работе предлагается описание потенциальной схемы применения парогазовой технологии с газификацией угля на Амурской ТЭЦ-1 и способы оценки ее эффективности. Сегодня состав основного теплоэнергетического оборудования станции включает пять котлов БКЗ-220-100Ф, два котла БКЗ-220-100-9 и два котла БКЗ-210-140, турбоустановку ПР-25-90/8,5/1,2, три турбоустановки ПТ-60-90/13 и одну турбоустановку ПТ-80/100-130/13. В качестве топлива используется уголь и природный газ Сахалинского месторождения. Но уголь является преобладающим видом топлива.

За основу при разработке тепловой схемы ПГУ с внутрицикловой газификацией угля для Амурской ТЭЦ-1 принята принципиальная схема подобной установки из источника [3]. Проектируемая установка включает следующие функциональные блоки: газотурбинная установка ГТЭ-170 (перспективная установка компании «Силовые машины»), газогенераторная установка с системой очистки синтез-газа, утилизационный котел и паротурбинная установка ПТ-60-90/13 (уже имеющаяся на станции).

Целью предстоящей работы является оценка технико-экономических показателей предложенной комбинированной установки. В качестве сырья для получения синтез-газа предлагается взять проектную марку угля и несколько марок непроектных углей, использовавшихся или рассматриваемых для использования на Амурской ТЭЦ-1. Полученные результаты позволят оценить потенциал угольного сырья. Основные характеристики углей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики углей, сжигаемых на Амурской ТЭЦ-1

Характеристика	Марка угля					
	Райчихинский (проектный)	Ургальский	Харанорский	Черногорский	Кирбинский	Тугнуйский
<i>Технический анализ угля</i>						
Общая влага, %	37	9,2	39,6	15	16,2	7,1
Зольность, %	13,9	34,1	18,2	12,5	14,2	23,8
Выход летучих веществ, %	43	42,6	40,5	28,9	42,9	32,5
Высшая теплота сгорания, ккал/кг	-	7923	6900	5360	7632	5178
Низшая теплота сгорания, ккал/кг	2797	4601	3150	5100	5200	4952
Общая сера угля, %	0,3	0,25	0,35	0,38	0,65	0,41
<i>Элементный анализ угля</i>						
Углерод, %	34,9	78,5	72,33	66	76,59	53,72
Водород, %	2,1	5,9	4,7	4,66	5,06	3,82
Азот, %	0,5	0,9	1	1,92	2,42	1,04
Кислород, %	11,3	14,1	21,05	12,1	13,58	10,62
Фосфор, %	-	0,02	0,05	0,046	0,061	0,044
Хлор, %	-	0,02	0,02	0,024	0,007	0,02
Мышьяк, %	-	0,0005	0,001	<0,0005	0,0005	0,003

Расчет процесса газификации производится по методике, изложенной в источнике [4]. Для определения состава генераторного газа необходимо знать элементарный состав топлива. Далее исходим из того, что процесс газификации, в целом, подразделяется на две части: процесс нагрева топлива без доступа воздуха в верхней части газогенератора, - и, собственно, процесс газификации, протекающий в нижней части газогенератора.

К показателям, характеризующим процесс нагрева топлива без доступа воздуха относятся: водяные пары, двуокись углерода, метан, азот, шлак, смола. Компоненты, образующиеся в зоне газификации: двуокись углерода, водород, азот и водяные пары.

На основании данных о составе газа и его количестве (в пересчете на 100 кг топлива), можно определить выход влажного и сухого газов, расход воздуха, влагосодержание газа. Далее составляются материальный и тепловой балансы процесса газификации. Далее, после получения состава генераторного газа, необходимо отделить составляющие, удаляемые в системе очистки генераторного газа, и получить таким образом окончательный состав синтез-газа, направляемого на сжигание в камеру сгорания газотурбинной установки.

Дальнейший расчет комбинированной установки представляет собой классические теплотехнические расчеты теплоэнергетических установок и включает следующие этапы:

1) определение характеристик рабочих тел (воздуха, газа и продуктов сгорания) газотурбинной установки;

2) расчет термодинамического цикла газотурбинной установки с определением, кроме технико-экономических показателей, таких параметров как расход отработавших в турбине газов и их температуру;

3) расчет утилизационного одноконтурного котла с определением таких параметров как паропроизводительность, температура и давление перегретого пара (при этом необходимо оценить возможность выхода по параметрам котла на характеристики турбоустановки ПТ-60-90/13);

4) расчет паротурбинной установки с учетом параметров пара, полученных в утилизационном котле;

5) определение технико-экономических показателей комбинированной парогазовой установки.

### **Заключение**

Предложенная в работе комбинированная парогазовая установка с внутрицикловой газификацией угля и схема ее расчета позволят оценить технико-экономическую целесообразность внедрения такой установки на Амурской ТЭЦ-1. При этом будет оценен потенциал различных видов угольного топлива, применяемых на электростанции, по получаемым характеристикам генераторного газа.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Прогноз научно-технологического развития топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года.- М: Министерство энергетики Российской Федерации, 2016.- 111 с.

2. Корнеева, Л.А. Особенности процесса газификации угольного топлива в энергетике / Л.А. Корнеева, А.В. Смирнов // Материалы II Международной научно-практической конференции молодых ученых Комсомольск-на-Амуре, 14-18 ноября 2022 г.- Комсомольск-на-Амуре.- 2022.- С.213-215.

3. Цанев, С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.И. Ремезов.- М.: Издательство МЭИ, 2002.- 584 с.

4. Дешалит, Г.И. Расчеты процессов газификации топлива.- Харьков: Издательство ХГУ, 1959 г.- 168 с.

УДК 621.671.2

Кривенко Марина Юрьевна, старший преподаватель кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Krivenko Marina Yuryevna, Senior Lecturer, Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University

## **МОДЕЛЬ ПОТОКА В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЭЛЕКТРОНАСОСНОГО АГРЕГАТА FLOW MODEL IN THE FLOW PART OF A CENTRIFUGAL ELECTRIC PUMP UNIT**

Аннотация. В статье рассмотрена технология получения оптической визуализации установившегося режима течения рабочего тела, на основании полученной визуализации предложена геометрическая модель структуры потока.

Abstract. The article discusses the technology of obtaining optical visualization of the steady-state flow regime of the working fluid; based on the obtained visualization, a geometric model of the flow structure is proposed.

Ключевые слова: оптическая визуализация, визуализация потока, картина течения, пограничный слой.

Key words: optical imaging, flow imaging, displacement imaging, boundary layer.

### **Введение**

В области развития космической техники возникает существенная необходимость в автономных энергосистемах малой мощности, содержащих замкнутый контур циркуляции рабочего тела с малоразмерными центробежными электронасосными агрегатами (ЦЭНА): системы жизнеобеспечения, терморегулирования, электрообеспечения космических аппаратов (КА). В настоящее время при проектировании ЦЭНА КА используют схемы расчёта и гидродинамические принципы оптимизации проточной части без учёта минимизации ЦЭНА. При этом существует значительное несоответствие между базовыми теоретическими предпосылками, лежащими в основе традиционных для насосостроения подходов, и действительной картиной течения в проточной части ЦЭНА. Два дополнительных, не учитываемых в должной мере фактора: малоразмерность и низкие числа Рейнольдса в относительном течении – существенно меняют гидродинамику потока в ЦЭНА за счёт возрастания роли сил вязкого трения. Как следствие, в потоке рабочего тела повышается неравномерность поля скоростей, усиливается склонность пограничного слоя к отрыву. Снижаются отклоняющие свойства рабочего колеса (РК) и ухудшаются напорные качества ЦЭНА.

### **Основная часть**

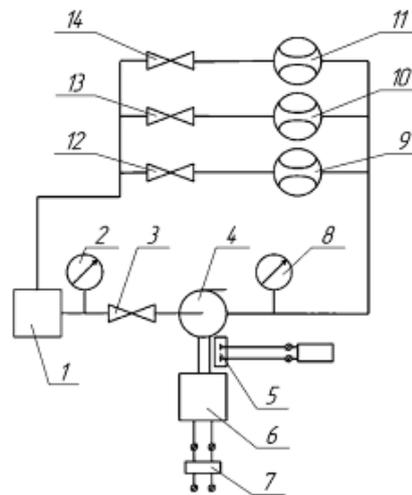
Требуемый напор при числах оборотов  $n = (3-10) \cdot 10^3$  об/мин обеспечивается рабочим колесом ЦЭНА, диаметр которого не более  $50 \cdot 10^{-3}$  м, тем самым ЦЭНА относится к классу малоразмерных лопаточных машин, особенностью которых является повышение относительной толщины пограничного слоя, смыкание вторичных течений и заметное снижение энергоэффективности. Каждый ЦЭНА объединяет два различных по функциям устройства: электрический привод и центробежный насос. Электропривод состоит из вращающегося якоря и неподвижного статора. Насос включает в себя рабочее колесо и корпус, снабжённый спиральным сборником.

Существует необходимость проведения исследований структуры потока в проточной части ЦЭНА, показывающих влияние геометрических соотношений проточной части на энергетические показатели ЦЭНА.

Работы проводились с помощью гидравлического стенда, принципиальная схема которого изображена на рисунке 1, выполненного по замкнутой гидравлической схеме.

- 1 – бак; 2 – манометр; 3 – шаровой кран;  
 4 – центробежный насос;  
 5 – датчик измерения оборотов;  
 6 – электродвигатель; 7 – латтер;  
 8 – эталонный манометр; 9-11 – расходомер;  
 12-14 – запорный вентиль

Рисунок 1 – Принципиальная схема гидравлического стенда



Система измерения включает в себя набор типовых измерительных устройств: образцовые манометры с классом точности 0,4, 0,6 и датчики расхода турбинного типа с погрешностью измерения  $\pm 0,5\%$ , индуктивный датчик оборотов, цифровые частотомеры.

Визуализация картины течения в межлопаточных каналах РК в рамках данного исследования осуществлялась путем смыва индикаторного покрытия, нанесенного на ограничивающие поверхности межлопаточных каналов. Результаты испытаний позволили построить геометрическую модель течения рабочего тела по межлопаточным каналам. Модель конкретизировала местоположение и размеры трёх локальных по размеру и малоэффективных, с точки зрения преобразования энергии, областей межлопаточных каналов нагнетательной части ЦЭНА. К таковым областям были отнесены:

- 1) пристеночная область ограничивающих дисков проточной части ротора ЦЭНА;
- 2) отрыв потока вдоль тыльной стороны лопаток;
- 3) треугольная область косога среза межлопаточных каналов (рисунок 2).

Первые две области обусловлены особенностями ЦЭНА: миниатюризацией конструкции и снижением числа  $Re$ . Следствиями стали: гидродинамические последствия – рост относительной толщины пограничного слоя, сопровождаемый повышением неравномерности поля скоростей и давления в поперечном сечении каналов, с соответствующим снижением удельного веса ядра потока в общем объёме пространства, занимаемого течением. Геометрические последствия – большая, по сравнению с полноразмерными конструкциями, степень диффузорности межлопаточных каналов, т.е. расширение каналов в радиальном направлении. Это стимулирует существенный рост градиента статического давления, при котором поток, из-за незначительного скоростного напора, отрывается от стенки в средней части течения, формируя зону отрыва.

Третья область неблагоприятного течения – косога срез канала. Он существует во всех классах центробежных нагнетателей, т.к. его причиной оказывается геометрия каналов центробежного нагнетателя. Радиальный контур выхода из каналов представляет собой треугольный канал, у которого отсутствует одна из двух продольных, ограничивающих канал, стенок. В зоне косога среза, из-за отсутствия стенки, происходит расширение потока и выравнивание перепада давления в окружном направлении. Следствием становится усиление эффекта «проскальзывания» потока, т.е. отклонения линий тока в сторону напорной стороны лопаток, снижающего напорные качества агрегата. Объём косога среза зависит от угла наклона лопаток и, в среднем, занимает 20-30% межлопаточного пространства. Разработанная геометрическая модель структуры потока, на основе полученной визуализации представлена на рисунке 3.

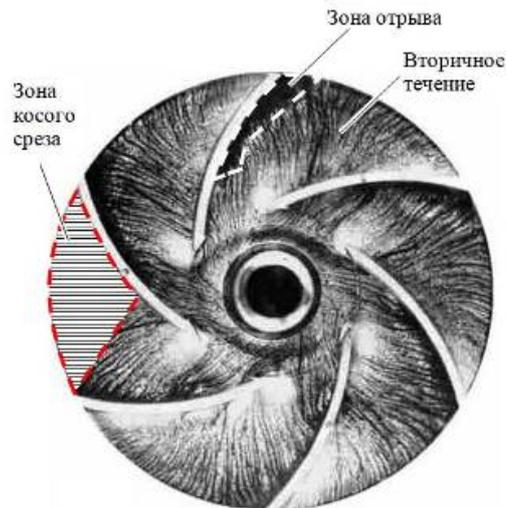


Рисунок 2 – Визуализированная картина течения в проточной части ЦЭНА с типовой геометрией каналов

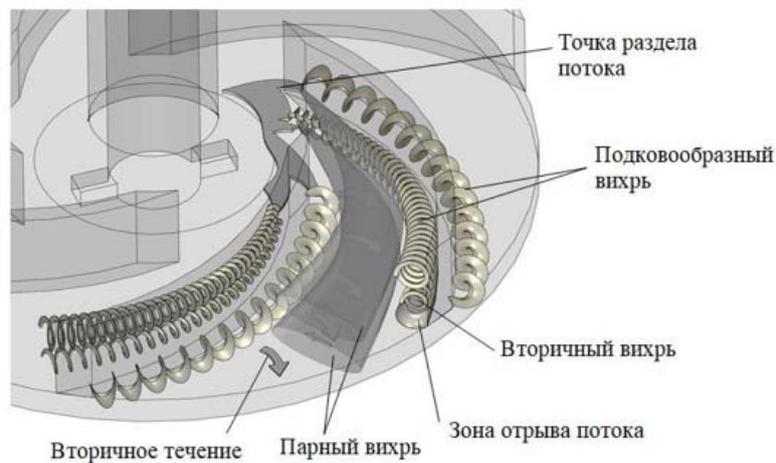


Рисунок 3 – Геометрическая модель структуры потока

### Заключение

Анализ известных конструктивных решений в области теории управления пограничным слоем позволил обосновать приемлемые, для миниатюрных конструкций, варианты модификации проточной части ротора ЦЭНА, целью которых является повышение энергетической эффективности агрегата и снижение возмущающего воздействия на космический аппарат:

1 Локализация отрывных зон путём уменьшения степени диффузорности каналов при сохранении неизменной высоты лопаток.

2 Локализация отрывных зон, снижение интенсивности вторичных течений и генерация дополнительного градиента статического давления в окружном направлении в каналах с цилиндрическими лопатками путем установки фронтальных (рисунок 4) или распределённых турбулизаторов в выходной части каналов.

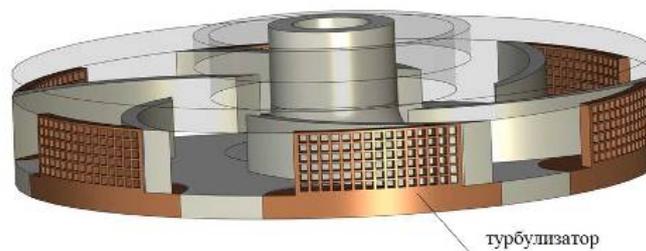


Рисунок 4 – Фронтальный турбулизатор

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ван-Дайк, М. Альбом течений жидкости и газа / М. Ван-Дайк – Москва : Мир, 1986. – 182 с.
2. Высокооборотные лопаточные насосы / под общ. ред. Б. В. Овсянникова и В. Ф. Чебаевского. – Москва : Машиностроение, 1975. – 336 с.
3. Назаров, В. П. Модель течения в рабочем колесе центробежного насоса / В. П. Назаров, В. В. Черненко, Д. В. Черненко // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2021. – Т. 22, № 3. – С. 494-503.

УДК 621.182

Кузин Геннадий Викторович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kuzin Gennady Viktorovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Баранов Евгений Витальевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Baranov Evgeny Vitalievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НА КПД КОТЛА ТЕМПЕРАТУРЫ ГЛУБОКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ТЭЦ ASSESSMENT OF THE EFFECT OF THE DEEP COOLING TEMPERATURE OF THE EXHAUST GASES OF A THERMAL POWER PLANT ON BOILER EFFICIENCY**

Аннотация. Постоянное повышение уровня потребления энергии людьми и одновременное негативное влияние теплоэнергетики на окружающую среду ведет к необходимости увеличения коэффициента использования потоков энергии на ТЭЦ. Большие потери с уходящими газами можно уменьшить, охлаждая их и конденсируя пары воды, содержащиеся в них. В докладе приведены результаты расчетов и приведены зависимости между температурой уходящих газов после глубокого охлаждения и КПД котельной установки при работе на природном газе.

Abstract. The constant increase in the level of energy consumption by people and the simultaneous negative impact of thermal energy on the environment leads to the need to increase the utilization rate of energy flows at thermal power plants. Large losses with exhaust gases can be reduced by cooling them and condensing the water vapor contained in them. The report presents the calculation results and shows the relationship between the temperature of the exhaust gases after deep cooling and the efficiency of the boiler plant when running on natural gas.

Ключевые слова: энергоэффективность, утилизация тепла, конденсация водяных паров уходящих газов, повышение КПД.

Keywords: energy efficiency, heat recovery, condensation of water vapor of exhaust gases, increased efficiency.

### **Введение**

Современные тенденции в теплоэнергетике указывают на постоянное увеличение потребления человечеством всех видов энергии. При этом источниками энергии выступают запасы химической энергии ископаемых ресурсов – природного газа, нефти, угля. Но и запасы ископаемого топлива не вечны: газа и нефти по разным источникам хватит на 40-100 лет, а угля на несколько столетий. При этом во время сжигания топлива происходит загрязнение окружающей среды твердыми и газообразными веществами, в атмосфере постоянно увеличивается содержание продуктов сгорания, например, двуокиси углерода  $CO_2$ . Также за последнее столетие средняя температура на поверхности земли возросла на 1,5-2 °С. Эти тенденции ведут к необходимости повышения коэффициента использования энергии в теплоэнергетике.

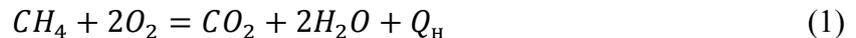
## Основная часть

Анализируя работу котлоагрегата, следует отметить, что потери с уходящими газами одни из самых больших на ТЭЦ. Одним из способов повышения тепловой эффективности котла, является получение теплоты при конденсации водяных паров дымовых газов. Но известные недостатки, такие как необходимость наличия специального утилизационного теплообменника, сложность в утилизации сконденсированных водяных паров и некоторые другие, мешают широкому распространению данного способа повышения экономичности. Рассмотрим подробнее эти особенности.

Применение утилизационного теплообменника на пути дымовых газов позволит их охладить до температуры ниже 100°C. При этом происходит конденсация водяных паров, находящихся в дымовых газах. При сжигании топлива (природного газа или угля), содержащего в определенном количестве разнообразные химические вещества, образуются оксиды, которые, в свою очередь, вступая в реакцию с водяными парами, образуют растворы кислот. Такая слабокислая среда способствует разрушению трубок утилизационного теплообменника и приводит к быстрому выводу его из строя. Поэтому необходимым требованием к материалу трубок является стойкость к коррозии.

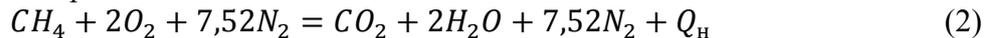
Еще одной особенностью применения утилизационного теплообменника является необходимость отводить большие объемы сконденсированной воды, которая имеет слабую кислотность и большое количество растворенных в ней химических элементов. Эту воду запрещено сливать напрямую в реки и водоемы, и требуется проводить ее химическую обработку, отстаивать, добавлять в нее реагенты для нейтрализации отдельных соединений.

Несмотря на указанные недостатки, поток тепловой энергии, который возможно получить, очень велик. Попробуем оценить величину этого потока в случае использования в качестве топлива природного газа. Для этого произведем расчеты по оценке возможности повышения степени использования теплоты сгорания топлива для основного компонента природного газа – метана. Химическая формула процесса сгорания (окисления) метана следующая:



где:  $Q_n$  – низшая теплота сгорания метана, равная 50,1 МДж/кг.

Исходя из того, что основной химический элемент в атмосфере это азот, перепишем формулу (1) для следующего состава воздуха:  $N_2$  – 79%,  $O_2$  – 21%, а остальными компонентами пренебрежем:



Данная формула учитывает только сгорание метана в двухкомпонентном воздухе, а остальные химические компоненты либо отсутствуют, либо не вступают в реакцию. Если формулу (2) перевести в массовый расход, то для сгорания 1 кг метана необходимо 17,16 кг воздуха, здесь берется коэффициент избытка воздуха равный 1. А после сгорания образуется 2,25 кг воды, из расчета на 1 кг топлива.

Интерес в разрезе глубокой утилизации и возврата энергии в цикл представляют следующие параметры: температура уходящих газов из котлоагрегата, их химический состав, доля и теплоемкость каждого компонента. Компонент  $H_2O$  будет находиться в состоянии пара, т.к. в обычных условиях температура уходящих газов равна 120-160°C, и энергия получаемая от их глубокого охлаждения зависит не только от глубины охлаждения, но и от количества сконденсированных водяных паров, умноженных на теплоту парообразования. Количество возвращаемой в цикл энергии в результате глубокой утилизации  $Q_{утил}$ , Вт, для процесса сгорания метана, можно определить по следующей формуле:

$$Q_{утил} = G_{CO_2} c_{CO_2} (t_k - t_{ут}) + G_{N_2} c_{N_2} (t_k - t_{ут}) + G_{H_2O}^{кп} c_{H_2Oпар} (t_k - t_{ут}) + (G_{H_2O}^{нп} - G_{H_2O}^{кп}) \times c_{H_2Oпар} (t_k - t_{кон}) + (G_{H_2O}^{нп} - G_{H_2O}^{кп}) c_{H_2Oвода} (t_{кон} - t_{ут}) + (G_{H_2O}^{нп} - G_{H_2O}^{кп}) r_{H_2O}, \quad (3)$$

где  $G_{CO_2}$  – массовый расход  $CO_2$ , кг/с;  $c_{CO_2}$  – средняя массовая теплоемкость  $CO_2$  в диапазоне температур охлаждения, Дж/кг°C;  $G_{N_2}$  – массовый расход  $N_2$ , кг/с;  $c_{N_2}$  –

средняя массовая теплоемкость  $N_2$  в диапазоне температур охлаждения, Дж/кг °С;  $t_k$  – температура уходящих газов из котлоагрегата, °С;  $t_{yt}$  – температура уходящих газов после утилизации их в котле утилизаторе/утилизационном теплообменнике, °С;  $G_{H_2O}^{кп}$  – массовый расход пара после утилизации тепловой энергии, кг/с;  $G_{H_2O}^{нп}$  – массовый расход пара, покидающего котлоагрегат до глубокого охлаждения, кг/с;  $t_{кон}$  – средняя температура конденсации водяных паров в утилизационном теплообменнике, °С;  $c_{H_2Oпар}$  – средняя массовая теплоемкость  $H_2O$  в виде пара, Дж/кг°С;  $c_{H_2Oвода}$  – средняя теплоемкость  $H_2O$  в жидком агрегатном состоянии, Дж/кг °С;  $r_{H_2O}$  – средняя теплота парообразования воды.

Для дымовых газов имеется известная зависимость [1], которая определяет их влагосодержание  $d$ , г<sub>воды</sub>/кг<sub>сухих газов</sub>, после прохождения утилизационного экономайзера.

$$d = \frac{99.24 + 622\alpha}{0.199 + \alpha} \times \frac{10^{\frac{156+8,12t}{236+t}}}{760 - 10^{\frac{156+8,12t}{236+t}}}$$

где:  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха в уходящих газах;  $t$  – температура уходящих газов, °С.

Анализируя данную формулу, можно прийти к выводу, что при охлаждении дымовых газов до 60°С основной объем паров воды в дымовых газах практически не конденсируется, а конденсация основной части паров наступает при охлаждении до температур 40-45°С.

Зная теплоемкости водяного пара, воды, углекислого газа и азота, принимая коэффициент избытка воздуха, равным 1, а температуру уходящих дымовых газов из котлоагрегата, равной 140°С, рассчитаем начальное и остаточное влагосодержание, согласно формулам (2) и (4), и на основании этого найдем количество возвращаемой в цикл энергии по формуле (3). Определим повышение КПД  $\Delta\eta$  для 1 кг метана, исходя из следующей формулы:

$$\Delta\eta = \frac{Q_{утил}}{Q_n} 100\%$$

Результаты сведем в таблицу 1, предварительно приведя результаты расчетов к сгоранию 1 кг метана.

Таблица 1 – Зависимости некоторых тепловых параметров от температуры охлаждения дымовых газов

Температура газов после конденсационного теплообменника, $t_{yt}$ , °С	Начальное влагосодержание, приведенное к 1 кг метана, кг/кг	Тепловая мощность конденсационного теплообменника приведенная к 1 кг метана, $Q_{утил}$ МДж/кг	Повышение КПД котлоагрегата с утилизационным теплообменником $\Delta\eta$ , %
90	2,25	1,04	2,9%
80	2,25	1,24	3,5%
70	2,25	1,45	4%
60	2,15	1,89	5,3%
55	1,7	3,07	8,6%
50	1,22	4,3	12%
40	0,69	5,79	16,1%
30	0,38	6,75	18,8%
20	0,21	7,41	20,6%
10	0,1	7,89	22%
5	0,08	8,07	22,5%

На основании данных таблицы строим график зависимости повышения КПД от температуры охлаждения дымовых газов (рисунок 1).

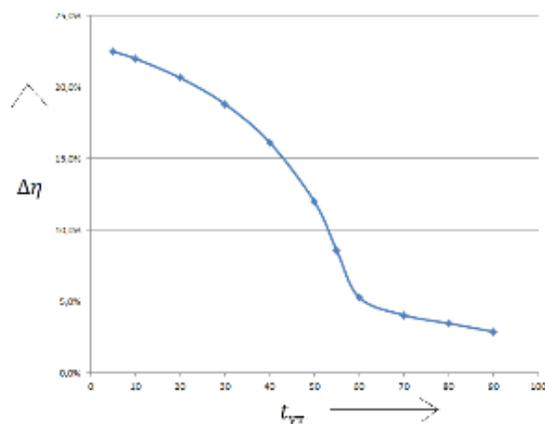


Рисунок 1 – Зависимость роста КПД от температуры охлаждения дымовых газов

### Заключение

При КПД котлоагрегата без конденсационного теплообменника 86-88% (для сгорания метана и температуры уходящих газов 140°C) можно добиться его повышения до 108,5-110,5%. Повышение КПД до значения 110,5% объясняется тем, что в классической теории расчета котлов в качестве базы для расчета КПД берется не вся теплота сгорания, получаемая при окислении топлива (высшая теплота сгорания), а только ее часть, за вычетом теплоты конденсации водяных паров (низшая теплота сгорания). Зависимость КПД от температуры уходящих газов указывает на оптимальную зону температуры охлаждения около 40°C. При более высоких температурах, уходящих большая часть энергии остается неутрализованной. Но следует иметь в виду, что для достижения низких температур уходящих газов требуется охлаждающий теплоноситель с соответствующей температурой и большие поверхности теплообмена.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бурцев, С.И. Влажный воздух. Состав и свойства: учеб.пособие / С.И.Бурцев, Ю.Н. Цветков. – СПб.: СПбГАХПТ, 1998. – 146 с
2. Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплотехнологиях /А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. – М.: Машиностроение, 2011. – 374 с.
3. Рыжкин, В.Я. Тепловые электрические станции : учебник для вузов / В.Я.Рыжкин; под ред. В. Я. Гиршфельда. – 4-е изд. – М.: АРИС, 2014. – 328 с.: ил.

УДК 621.311.22, 621.182.12

Курбанова Татьяна Александровна, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kurbanova Tatyana Aleksandrovna, magistrant of Komsomolsk-na-Amure State University

Смирнов Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Smirnov Aleksey Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

### ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВОДОПОДГОТОВКИ НА АМУРСКОЙ ТЭЦ-1

### WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE WATER TREATMENT PROCESS AT AMUR CHPP-1

Аннотация. Процесс подготовки воды на тепловых паротурбинных электростанциях и в системах теплофикации является неотъемлемой и весьма важной частью всего технологического цикла производства тепловой и электрической энергии. Наибольшее распространение получили системы водоподготовки на основе ионного обмена. Такие системы имеют ряд недостатков, заключающихся, например, в большом расходе и дорогом

визне реагентов, необходимости сброса сточных вод и др. В связи с этим, актуальным становится вопрос о внедрении на электростанциях альтернативных систем водоподготовки или создания комбинированных систем. Этим вопросом посвящена данная работа.

Abstract. The process of water treatment at thermal steam turbine power plants and in heating systems is an integral and very important part of the entire technological cycle of heat and electric energy production. Ion exchange-based water treatment systems have become the most widespread. Such systems have a number of disadvantages, such as high consumption and high cost of reagents, the need to discharge wastewater, etc. In this regard, the issue of introducing alternative water treatment systems or creating combined systems at power plants becomes urgent. This work is devoted to these issues.

Ключевые слова: тепловые электрические станции, водоподготовка, повышение эффективности.

Keywords: thermal power plants, water treatment, efficiency improvement.

### Введение

В настоящее время в тепловой энергетике решаются многие задачи, связанные с разработкой и внедрением новых установок, модернизацией и реконструкцией оборудования, внедрения процессов энергосбережения, повышения эффективности работы действующего оборудования, улучшения экологических показателей. При этом затрагиваются различные стороны и оборудование основного и вспомогательных технологических процессов тепловых электростанций.

Не является исключением и технологический процесс подготовки воды. Качество воды, используемой на ТЭЦ в основном цикле, в значительной степени определяет надежность работы оборудования и его ресурс, что и определяет актуальность исследований в этом направлении.

### Основная часть

На тепловых электрических станциях вода используется в различных целях (рисунок 1) [2].

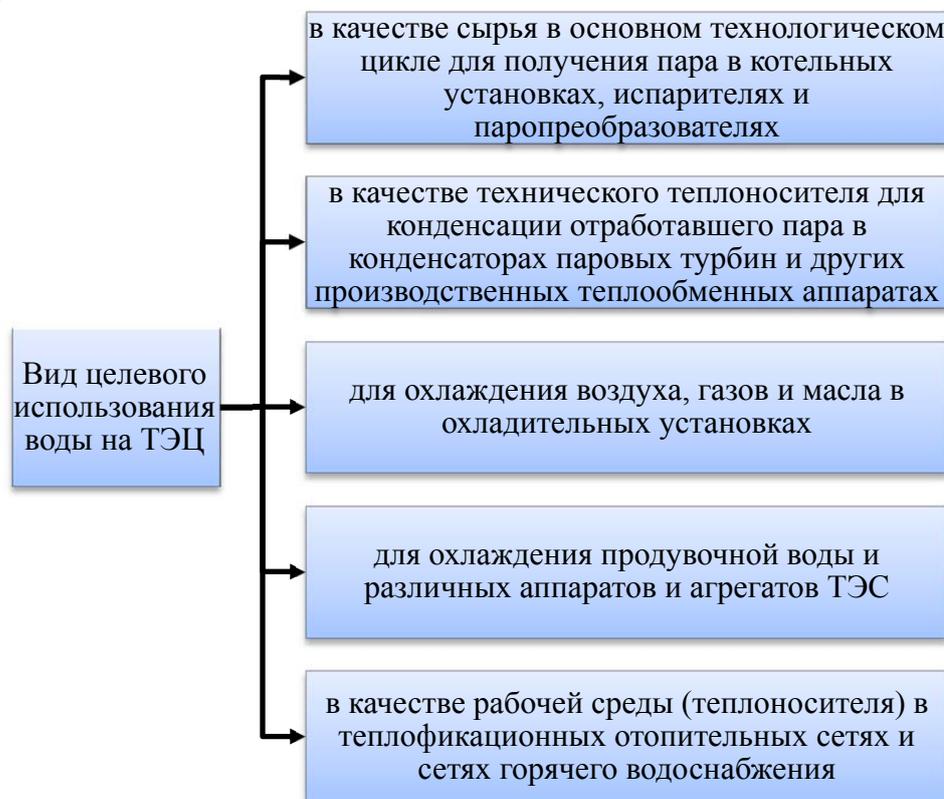


Рисунок 1 – Схема целевого использования воды на ТЭЦ

В зависимости от целей применения воды, к ее качеству применяются различные требования. Наиболее жесткие требования предъявляются к воде основного технологического цикла, что объясняется необходимостью решения задач, обозначенных на рисунке 2.

В настоящее время известны следующие методы подготовки обессоленной воды на тепловых электростанциях: ионный обмен, электродиализ, термический способ, мембранные технологии. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки. Рассмотрим основные особенности указанных методов [3].



Рисунок 2 – Перечень задач на ТЭЦ, обуславливающих высокие требования к качеству воды технологического цикла

Метод ионного обмена основан на процессе переноса ионов одного вещества на ионы другого вещества в специальном заменителе. Заменители бывают разных конструкций, но обычно они состоят из смол, которые обладают способностью заменять ионы, а точнее способностью ионов кальция и магния образовывать нерастворимые соединения с ионами серной или соляной кислот.

К преимуществам метода ионного обмена относятся:

- широкий спектр применения;
- снижение стоимости;
- отсутствие необходимости в высоких дозах;
- возможность удаления различных загрязнений.

В качестве недостатков метода ионного обмена можно отметить следующее:

- процесс может быть медленным и включать большое количество смолы;
- требуются периодическая регенерация и замена смолы;
- данным методом невозможно очистить воду от всех загрязняющих веществ;
- невозможность провести глубокое обессоливание;
- применение небезопасных химических реактивов.

Электродиализ воды заключается в организации направленного движения ионов растворенных веществ под действием электрического поля. Это позволяет получать жидкость с нужным содержанием солей.

Преимущества электродиализа следующие:

- эффективное удаление солей жесткости;
- малоотходная технология с низкими затратами энергии;
- меньшие объемы стоков по сравнению с другими мембранными методами;
- возможность обработки стоков, получаемых после регенерации ионообменных смол на установках умягчения;

В качестве недостатков электродиализа можно отметить:

- невозможность проведения очистки сред с незаряженными веществами.
- появляющиеся с течением времени проблемы с использованием мембран: образование поляризационного слоя, оседание на мембранах солей и засорение пор.

Метод обратного осмоса заключается в фильтрации потока воды через полупроницаемую мембрану высокого давления. Обратный осмос используется для удаления различных примесей, включая соли, минералы, бактерии и другие загрязнители из воды.

Преимуществами метода обратного осмоса являются:

- высокий уровень очистки воды;
- минимальные затраты на обслуживание.

Недостатками метода обратного осмоса являются:

- высокая стоимость мембран;
- низкая производительность;
- энергоемкость;
- необходимость периодической замены мембран.
- необходимость предварительной подготовки воды;
- необходимость создания высокого давления.

Термический способ или дистилляция заключаются в получении из воды в специальных аппаратах (испарителях) пара, который затем конденсируют.

Основным преимуществом метода является получение чистой воды.

К недостаткам метода испарения можно отнести следующие моменты:

- необходимость в обеспечении источника теплоты (первичного пара);
- необходимость регулярной очистки испарителя от накипи;
- необходимость применения системы охлаждения с большим расходом воды.

Из всех вышеуказанных методов в нашей стране получил наибольшее распространение на тепловых электростанциях метод ионного обмена. Это технология химического обессоливания на базе прямоточных ионитных фильтров. Данная технология применяется уже несколько десятилетий. В процессе эксплуатации показала себя вполне надежной для вод малой и средней минерализации [4].

На Амурской ТЭЦ-1 также для получения обессоленной воды применяется метод ионного обмена. Рассмотрим кратко технологический цикл водоподготовки на этой станции. Предварительная подготовка воды осуществляется по классической технологии: подогретая вода проходит последовательно осветлитель и механические фильтры. Далее вода поступает на цепочку химического обессоливания и проходит последовательно следующие ступени: фильтр катионитный предвключенный ФНП, фильтр катионитный 1-й ступени ФНО1, фильтр анионитный среднеосновной ФАН, фильтр катионитный 2-й ступени ФНО2, деаэратор, фильтр анионитный высокоосновной ФАВ и фильтр смешанного действия ФСД. Несмотря на то, что такой способ подготовки является «классическим», все же представленная цепочка является длинной, что создает повышенное гидравлическое сопротивление в системе, требует повышенной мощности насосов. Кроме того, фильтры требуют периодической регенерации, утилизации сточных вод, затрат на закупку реагентов.

### **Заключение**

Для повышения эффективности процесса водоподготовки на Амурской ТЭЦ-1 предлагается применить комбинированную систему подготовки на основе рассмотренных выше методов. Предпочтение будет отдано таким методам как ионный обмен (с противоточной регенерацией), электродиализ и обратный осмос. Планируется оценить эффективность работы нескольких вариантов цепочек.

Создание комбинированной современной системы подготовки обессоленной воды на Амурской ТЭЦ-1 позволит повысить эффективность процесса в целом, снизить воздействие предприятия на окружающую среду и затраты на собственные нужды станции.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Прогноз научно-технологического развития топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года.-М: Министерство энергетики Российской Федерации, 2016.- 111 с.
2. Верховская, Н.В. Водоподготовка и очистка воды.- Киров: ВГУ, 2009.- 102 с.
3. Оразова, А.Ж. Подготовка воды тепловых электростанций. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://na-journal.ru/4-2023-tehnologii-proizvodstva/4845-podgotovka-vody-terplovyyh-elektrostantsii>.
4. Бушуев, Е.Н. Анализ современных технологий водоподготовки на ТЭС / Е.Н. Бушуев, Н.А. Еремина, А.В. Жадан // Вестник ИГЭУ.- Вып. 1.- 2013.- С.1-8.

УДК 621.313.322-81

Лалетина Юлия Геннадьевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Laletina Julia Gennadyevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Хвостиков Александр Станиславович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Alexander Stanislavovich Khvostikov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department "Thermal power plants", Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ПОДПАЗОВОГО КАНАЛА ВОДОРОДНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА INVESTIGATION OF THE AERODYNAMICS OF THE SUB-PHASE CHANNEL OF HYDROGEN COOLING OF THE GENERATOR**

Аннотация. Настоящая статья посвящена исследованию эффективности водородного охлаждения генераторов тепловых электрических станций. Согласно исследованиям, при повышении температуры изоляции на 10 °С срок её службы сокращается вдвое. Распределение водорода осуществляется из подпазового канала. На основе анализа исходной информации можно сделать вывод, что для обеспечения равномерного охлаждения достаточно обеспечить равномерность распределения охлаждающего водорода по пазовым каналам, что, в свою очередь, можно сделать изменением геометрии подпазового канала. В статье выбраны основные параметры численного расчета и приведен пример аэродинамики подпазового канала.

Abstract. This article is devoted to the study of the efficiency of hydrogen cooling of generators of thermal power plants. According to research, when the insulation temperature increases by 10 °С, its service life is halved. The distribution of hydrogen is carried out from a sub-phase channel. Based on the analysis of the initial information, it can be concluded that in order to ensure uniform cooling, it is sufficient to ensure uniform distribution of cooling hydrogen through the groove channels, which, in turn, can be done by changing the geometry of the sub-phase channel. The main parameters of numerical calculation are selected in the article and an example of the aerodynamics of a sub-phase channel is given.

Ключевые слова: водородное охлаждение генератора, аэродинамика, распределение скоростей, метод конечных объемов.

Key words: keywords: hydrogen cooling of the generator, aerodynamics, velocity distribution, finite volume method.

### **Введение**

Важным аспектом работы электростанции является обеспечение работоспособного состояния ее оборудования. Работоспособность электрогенераторов тепловых

электрических станций зависит в основном от состояния изоляции. Главной причиной старения изоляции является ее нагрев. Согласно исследованиям, при повышении температуры изоляции на 10 °С срок её службы сокращается вдвое. Существуют воздушное, водородное и водяное охлаждение генераторов. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и области применения. Наибольшее распространение получило водородное охлаждение из-за хороших теплофизических свойств водорода и отсутствия окисления изоляции при работе [1].

Основным направлением работы по проектированию систем водородного охлаждения генератора является обеспечение равномерного охлаждения при минимальных массогабаритных характеристиках. Охлаждение водородом осуществляется за счет его циркуляции в пазовых каналах. Распределение водорода осуществляется из подпазового канала. На основе анализа исходной информации можно сделать вывод, что для обеспечения равномерного охлаждения достаточно обеспечить равномерность распределения охлаждающего водорода по пазовым каналам, что, в свою очередь, можно сделать изменением геометрии подпазового канала.

### **Основная часть**

Повышение эффективности водородного охлаждения генератора достигается за счет выравнивания распределения температур обмотки и зубов сердечника статора и снижения их локальных максимумов. Снижение локальных максимумов температур возможно вследствие равномерного распределения охлаждающего водорода по пазовым каналам. При отборе водорода на первых пазовых каналах давление водорода в подпазовом канале снижается и на последующие пазовые каналы идет меньшее количество водорода для охлаждения. Задача проектирования – выровнять распределение водорода по пазовым каналам, вследствие чего выравнивается распределение температур.

Исследование распределения скоростей в системе водородного охлаждения рассматривается исследователями исключительно в гидравлическом расчете на основе уравнения Бернулли. Такого рода аналитические расчеты приводятся в работе [3] применительно к нагнетательным и вытяжным системам питающего канала. В настоящее время развитие получили расчеты на основе сеточных методов. Сеточные методы подразделяют на методы, где решение уравнений осуществляют непосредственно или дискретными аналогами (метод конечных разностей и метод конечных объемов), и методы на основе уравнений аппроксимации исходной дифференциальной модели (метод конечных элементов). Прогрессивные программные продукты в основном используют методы конечных объемов.

Исследование распределения температур возможно на основе численного моделирования задач теплообмена. Существует значительное количество программных комплексов численного расчета теплообмена. С помощью вычислительной техники появляются возможности по увеличению точности расчетов, однако, увеличенная сложность расчетов предъявляет повышенные требования к аппаратным средствам. Для упрощения расчетов принимаются следующие допущения.

Движение газов в рассматриваемой системе водородного охлаждения обусловлено разностью диаметров вращения. У газов, удаленных от оси вращения, вследствие центробежной силы, действующей на них, возникает перепад давления около 10 кПа. Расчет движения газов в динамике совместно с расчетами теплообмена влечет значительное увеличение времени вычислений. Поэтому для расчетов принимаем модель статичной. В качестве граничных условий на конец пазовых каналов накладываем превышение давления над входом в пазовый канал в 12 кПа [2].

Из подпазового канала, охлаждающий водород распределяется по радиальным вентиляционным каналам. Большое количество каналов, распределенных по окружности значительно увеличивает вычислительные расчеты (рисунок1). Предлагается перейти от объемной задачи к плоской с осевой симметрией, что значительно снизит тре-

бования к вычислительному оборудованию и сократит время расчета. Пазовые каналы, распределенные по окружности, предлагается заменить одним каналом. При этом необходимо перейти к площади одного канала, эквивалентной сумме площадей всех каналов, расположенных по окружности пазового канала. Переход от объемной задачи к плоской необходимо подтвердить сравнением результатов расчета с определением эквивалентного сечения.

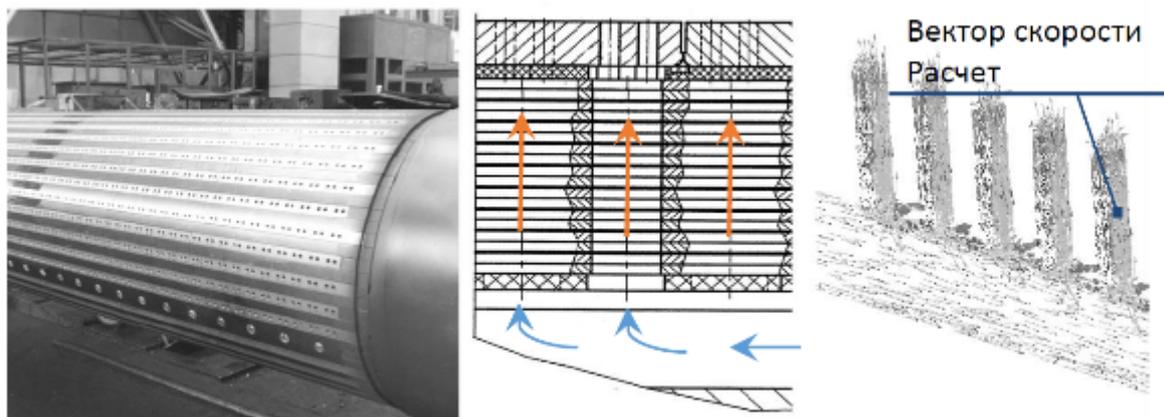


Рисунок 1 – Вид и схема охлаждения обмотки из подпазовых каналах в радиальных вентиляционных каналах ротора

Дальнейшие действия по построению модели (дискретизация сетки и выбор модели турбулентности) основаны на выборе между точностью и временем расчета. Чем больше точность вычислений, тем большей мощности вычислений требует программное обеспечение. Решение по выбору может быть принято либо в зависимости от задач расчета (проектирование новых систем охлаждения, исследовательские задачи или модернизация существующих), либо в зависимости от имеющихся аппаратных средств.

Исследование движения водорода в каналах охлаждения проводится с учетом законов сохранения массы, количества движения и энергии. Решение дифференциальных уравнений в численных методах решения возможно на основе различных моделей турбулентности, среди которых наиболее популярны следующие: стандартная  $k-\varepsilon$ , реализуемая  $k-\varepsilon$ , стандартная  $k-\omega$ ,  $k-\omega$  SST Ментера.

Стандартная  $k-\varepsilon$  модель турбулентности использует решение уравнений кинетической энергии турбулентности и уравнение рассеяния энергии вследствие турбулентности. В реализуемой  $k-\varepsilon$  модели используется уравнение для турбулентной вязкости. В моделях турбулентности  $k-\omega$ , наряду с кинетической энергией турбулентности, используется уравнение удельной диссипации. Модель турбулентности  $k-\omega$  SST Ментера включает в себя преимущества  $k-\varepsilon$  и  $k-\omega$  моделей и наиболее применима при решении задач течения охлаждающего водорода в каналах генератора.

Для решения задач течения водорода в пазовых каналах необходимо задаться граничными условиями. Во входной области торец подпазового канала задается расходом охлаждающего водорода. В выходной области торцы пазовых каналов задаются давлением водорода. Изменяя параметры давления и расхода, можно определить их влияние на равномерность течения. Выполнив тепловой расчет, можно понять, насколько эффективно изменение параметров в задаче повышения эффективности водородного охлаждения турбогенератора.

На рисунке 2 показан пример расчета движения охлаждающего водорода по каналам генератора. Из рисунка видно значительное влияние места отбора на расход и давление водорода в каналах охлаждения.

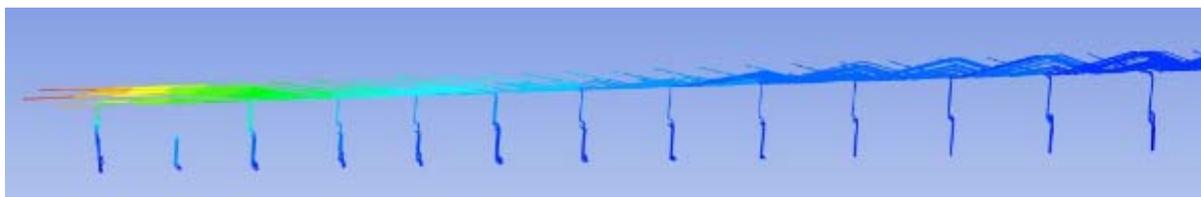


Рисунок 2 – Результаты расчета распределения давления подпазового канала

### **Заключение**

В статье рассмотрена задача повышения эффективности водородного охлаждения генератора. Задача обеспечения равномерности охлаждения может быть решена обеспечением равномерности течения водорода в каналах. Наиболее целесообразно производить расчет с помощью численных моделей конечных объемов. Предложены упрощения модели задачи без потери анализируемой информации. Выбраны основные параметры численного расчета и приведен пример численного исследования аэродинамики подпазового канала.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Лалетина, Ю. Г. Повышение эффективности охлаждения турбогенераторов / Ю. Г. Лалетина, А. С. Хвостиков // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 275-277.
2. Верховцев, Д. А. О тепловом состоянии обмотки ротора турбогенератора с самовентиляцией из подпазового канала / Д. А. Верховцев, Э. И. Гуревич, Н. В. Коровкин // Электрические станции. – 2021. – № 5(1078). – С. 38-43.
3. Филиппов И.Ф. Теплообмен в электрических машинах / И.Ф. Филиппов // Л.: Энергоатомиздат. – 1986. – С. 256.
4. Menter F. R. Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model / F. R. Menter, M. Kuntz, and R. Langtry // Turbulence, Heat and Mass Transfer 4, ed.; Begell House, Inc., 2003. P.625 – 632.

УДК 629.5.023

Лю Вэньмин, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Liu Wenming, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Каменских Ираида Витальевна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kamenskikh Iraida Vitalievna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Shipbuilding and Computer Engineering”, Komsomolsk-na-Amure State University

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ГОФРОВ ПЕРЕБОРОК ТАНКЕРА DETERMINING THE DIMENSIONS OF THE CORRUGATED TANKER BULKWALLS**

Аннотация. Приведены результаты проектирования переборок танкера средней вместимости. Проведен расчет размеров гофров переборки по требованиям Правил классификации и постройки морских судов. Показан алгоритм проектирования переборки, обеспечивающий оптимальные размеры, требуемый момент сопротивления и расчетные параметры. Рассмотрены различные варианты поперечных нагрузок. Приведены результаты расчетов и основные выводы.

Abstract. The article presents the results of designing bulkheads for a medium-capacity tanker. The calculation of the dimensions of the bulkhead corrugations is carried out according to the requirements of the Rules for the Classification and Construction of Sea Vessels. The algorithm for designing a bulkhead is shown, which ensures optimal dimensions, the required moment of resistance and design parameters. Various variants of transverse loads are considered. The calculation results and main conclusions are presented.

Ключевые слова: гофрированная переборка, расчет конструкции, танкер, размеры гофров.  
Keywords: corrugated bulkhead, design calculation, tanker, corrugation dimensions.

### Введение

Проектирование конструкции корпуса судна по Правилам классификации и постройки морских судов в учебном процессе выполняется студентами в курсовом проекте (КП) [1] и при выполнении выпускной квалификационной работы (ВКР), а также некоторые конструкции более подробно исследуются в расчетной части магистерской диссертации. Конструкция корпуса судна в средней части состоит из перекрытий днища, борта, палубы и переборок. Конструкция переборки должна отвечать требованиям прочности, жесткости и устойчивости. При проектировании необходимо учитывать геометрию переборки, характер закрепления на соседних конструкциях и распределение внешних нагрузок. При длине танкера менее 150 метров, определение размеров элементов конструкций выполняют по требованиям, приведенным во II Части «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов [2] (Правила Регистра).

### Основная часть

Проектирование корпусных конструкций и уточнение последовательности проектирования переборок из [1] проводилось для танкера средней вместимости. Предварительно были спроектированы по продольной системе набора днищевое, бортовое и палубное перекрытия. В расчетах приняты следующие размеры судна: длина 120,4 м, ширина 20,4 м, высота борта 11,5 м, осадка 8,7 м. Все элементы рассчитаны по требованиям Правил Регистра к конструкциям и размерам связей корпуса танкера. С учетом надбавки на коррозию толщины обшивки и настилов перекрытий составили от 10 до 12 мм. Балки основного набора рассчитаны с толщиной стенки от 10 до 12 мм и высотой от 12 до 14 см. Толщины днищевых рамных связей, бортовых диафрагм составили от 10 до 12 мм. По расчетам минимальная толщина листов водонепроницаемой переборки, без надбавки на коррозию, составила 10 мм [2]. По Правилам Регистра переборки должны иметь горизонтальные гофры [2]. Учитывая особенности эксплуатации танкеров и существующие варианты конструкций судов-прототипов, в расчете поперечной переборки рассмотрена гофрированная конструкция коробчатого профиля с вертикальным расположением гофров (рисунок 1). Продольные гофрированные переборки допускаются на судах длиной менее 180 м.

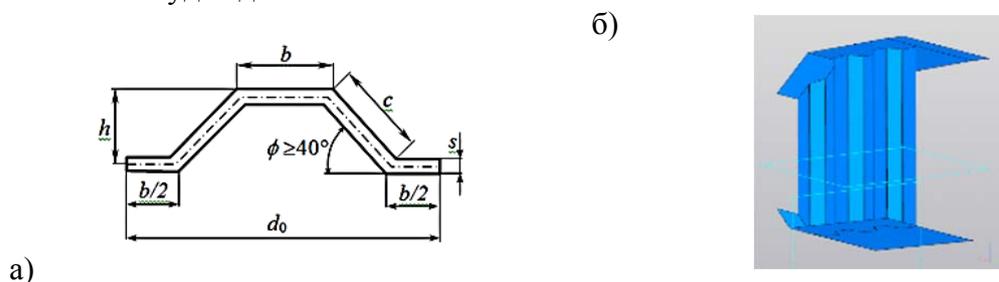


Рисунок 1 – Коробчатые гофры (трапециевидные):

а – параметры сечения гофра; б – общий вид гофрированной поперечной переборки

Линейные размеры сечения гофра (рисунок 1, а) измеряются в метрах, угол  $\phi$  в градусах. Для упрощения проектирования параметров формы гофра можно принять  $b = c$ . Угол  $\phi$ , в первом приближении, принимаем  $45^\circ$  (далее его можно уточнить). Расчетное давление  $p$ , кПа вычисляется по формулам Правил Регистра [2]. Определение

размеров коробчатых гофров проводилось в следующей последовательности (где  $l$  – высота грузового танка, м) [2]:

- ширина грани гофра, параллельной плоскости переборки, м:

$$b = 0,06 s \sqrt{\eta};$$

- неразвернутая ширина гофра, м:

$$d_o = 2 (b + c \cdot \cos \phi);$$

- высота гофра, м (из геометрии сечения гофра [3]):

$$h = c \cdot \sin \phi,$$

- поперечная нагрузка, кН:

$$Q = p d_o l;$$

- минимальный момент сопротивления гофра, см<sup>3</sup>:

$$W' = \frac{Ql10^3}{mk_\sigma\sigma_n};$$

- фактический момент сопротивления гофра, см<sup>3</sup>:

$$W = hs(b + c/3).$$

Коэффициенты: изгибающего момента  $m$ , допускаемых напряжений  $k_\sigma$ , использования механических свойств стали  $\eta$  и нормативный предел текучести  $\sigma_n$ , МПа, определяются по Правилам Регистра [2]. Согласно Правилам Регистра фактический момент сопротивления гофра должен быть больше минимального момента сопротивления. После определения минимального момента сопротивления гофра его значение увеличивают на величину коррозионного износа по требованиям Правил Регистра.

Элементы гофра должны быть подобраны так, чтобы вес гофра на единицу ширины оказался наименьшим, т.е. чтобы наименьшей оказалась величина [4]

$$f = \frac{s(b + c)}{b + c \cdot \cos \phi}.$$

Соотношения между величинами  $b$  и  $s$ , а также  $c$  и  $s$  должны быть рассчитаны так, чтобы были удовлетворены условия прочности и местной устойчивости пояска и стенки гофра (вычисляемые напряжения при изгибе пластины длиной равной ширине гофра, эйлерово напряжение пояска гофра при сжатии в одном направлении, эйлерово напряжение стенки гофра при чистом изгибе должны быть меньше предельных значений) [4]. А также с учетом того, что минимальная строительная толщина обшивки для судов с длиной от 80 до 200 метров составляет 10 мм [3]. Для заданных размеров судна и рассчитанных размеров гофров водонепроницаемой переборки определены расчетные давления статические по формулам [2] и динамические, как от перевозимого в танках груза, так и при заполнении танка забортной водой в аварийной ситуации.

Динамические давления (кПа) определялись по формуле [3]

$$p_r = \rho_r g \left( 1 + \frac{a}{g} \right) \left[ z_i + \left( x_i + \frac{l_r}{2} \right) \psi + 0,5 \left( y_i + \frac{b_r}{2} \right) \theta \right],$$

где  $\rho_r$  – расчетная удельная погрузочная масса жидкого груза, т/м<sup>3</sup>;  $a$  – расчетное ускорение, определяемое по [2], м/с<sup>2</sup>;  $\psi, \theta$  – расчетные углы килевой и бортовой качки соответственно, определяемые по [2], рад;  $l_r, b_r$  – длина и ширина танка, м;  $x_i, y_i$  – отстояние рассматриваемой точка связи поперечной переборки соответственно от поперечной и продольной вертикальной плоскости, проходящей через центр тяжести объема отсека в положении равновесия ( $G_{\text{тгоо}}$ , см. рисунок 2), м;  $z_i$  – отстояние той же точки связи от палубы, ограничивающей отсек, м;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Принятые расчетные точки показаны на рисунке 2. Результаты расчетов (для точек 1 и 2, при  $\phi = 70^\circ$ ,  $b=c$ ,  $\rho=1,025$  т/м<sup>3</sup>) представлены на рисунке 3. В расчетах принимаем:  $x_i=l_m/2$ ,  $y_1=0$ ,  $y_2=b_m/2$ ,  $z_i=h/2$ , расчетное ускорение  $a$  зависящее от  $x_0, y_0, z_0$  вычисляется для каждой расчетной точки (см. рисунок 2).

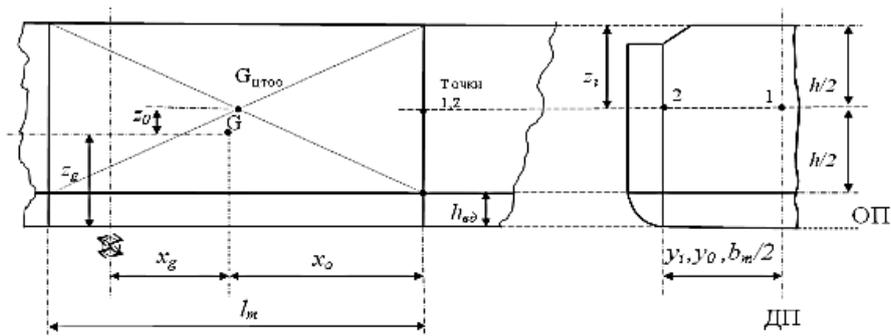


Рисунок 2 – Расчетные точки

Координаты центра тяжести судна определяем из [3] по формулам ( $D$  – высота борта, м) при  $y_g = 0$

$$z_g = 0,53D,$$

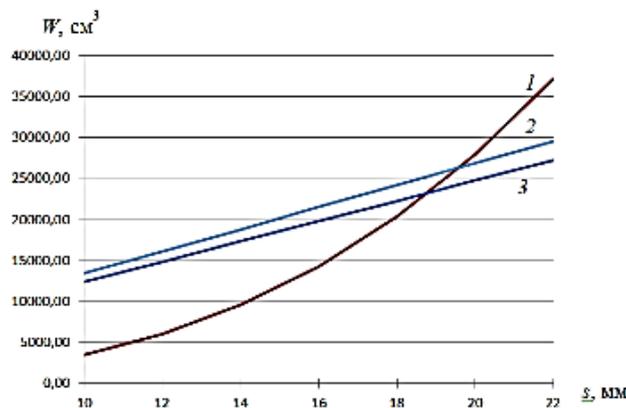
$$x_g = x_c = (20C_b - 13,5)0,01L.$$

Коэффициент общей полноты судна  $C_b$  можно принять по судну-прототипу или вычислить по статистической формуле ( $Fr$  – число Фруда) [3]

$$C_b = 1,06 - 1,4Fr.$$

Угол  $\phi$  (рисунок 1) по данным [4] принимают в пределах от  $45^\circ$  до  $60^\circ$ . По данным из [3] гофры переборки должны иметь угол от  $40^\circ$  до  $45^\circ$ , при этом переборки с  $\phi = 60^\circ$  практически не уменьшают металлоемкость конструкции по сравнению с плоской переборкой. Минимальный вес гофра на единицу ширины определялся при значении угла  $\phi$  в диапазоне от  $45^\circ$  до  $70^\circ$ . В результате получили размеры гофров при  $\phi = 70^\circ$ :  $b=c=0,95$  м,  $h=0,9$  м;  $b=0,95$  м,  $c=1,12$  м,  $h=1,04$  м (разница в размерах между  $b$  и  $c$  не превышает  $0,25b$ ).

Результаты расчетов (рисунок 3) показали, что для обеспечения ограничения по минимальному моменту сопротивления гофра (рассчитанного по Правилам Регистра), необходимо увеличить толщину листов гофрированной переборки до 21 мм (с учетом надбавки на коррозию). Это почти в два раза превышает минимальную толщину обшивки переборки, определенную по Правилам Регистра для статической нагрузки. Уменьшить размеры гофров переборки можно путем увеличения их жесткости, спроектировав для нее трапециевидальную опору. Такая конструкция также позволит исключить жесткие точки в конструкциях в районе установки переборки. Соответствующее конструктивное усиление под трапециевидальной опорой потребует спроектировать в днищевом перекрытии.



1 – фактический  $W$ , вычисленный по Правилам Регистра; 2 – минимальный требуемый  $W$ , нагрузка определена для точки 2 (рисунок 2); 3 – минимальный требуемый  $W$ , нагрузка определена для точки 1 (рисунок 2)

Рисунок 3 – Расчетные и требуемые значения моментов сопротивления гофра

В конструкции поперечных гофрированных переборок необходимо предусмотреть плоские переходные участки, присоединяющие переборку к борту. Правилами Регистра регламентируется ширина переходного участка только для переборок танкеров с горизонтальным расположением гофров, которая должна быть не менее  $0,1D$  от палубы и днища соответственно. Следует отметить, что для нефтерудовозов ширина данных участков для переборок с вертикальными гофрами должны быть не менее  $0,08B$  [2]. Для продольной переборки с вертикальными гофрами размеры гофров принимаем равными гофрам поперечной переборки (в КП и ВКР). Днищевая конструкция в месте установки продольной гофрированной переборки также требует усиления, установки туннельного кия с шириной соответствующей высоте гофра.

#### **Заключение**

Размеры конструкции гофрированной переборки должны также определяться и с учетом постановки судна в док на килевую дорожку, но в КП и в ВКР этот расчет не проводится. Уточненная методика проектирования поперечных переборок позволит студентам проводить расчеты не только по Правилам Регистра, но и учетом основных факторов, влияющих на обеспечение ее прочностных качеств. Использование численного моделирования при проектировании и расчете конструкций судов в учебном процессе пока сталкивается с ограничениями, связанными с вычислительными возможностями компьютерной техники.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Бурменский, А. Д. Проектирование конструкций корпуса морских транспортных судов : учеб. пособие / А. Д. Бурменский, И. В. Каменских, С. Д. Чижиумов. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 126 с.
2. Правила классификации и постройки морских судов, часть II «Корпус» / Российский морской регистр судоходства : сайт. – СПб, 2024. – 335 с. – URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument2?type=rules&d=0885C1C6-A65D-4F0B-A269-6D3995126109&f=2-020101-174-2> (дата обращения: 25.11.2014)
3. Тряскин, В. Н. Проектирование корпусных конструкций морских судов : учеб. пособие / В. Н. Тряскин, В. Н. Лазарев, Ю. А. Смирнов, В. А. Курдюмов. – Л.: Изд. ЛКИ, 1987. – 85 с.
4. Курдюмов, А. А. Прочность корабля / А. А. Курдюмов. – Л.: Судпромгиз, 1956. – 384 с.

УДК 621.565.94

Маршалов Алексей Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Marshalov Alexey Alexandrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Баранов Евгений Витальевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Baranov Evgeny Vitalievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕПЛООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ METHODS OF INCREASING THE INTENSITY OF HEAT TRANSFER IN HEAT EXCHANGE EQUIPMENT OF POWER PLANTS**

Аннотация. В докладе рассматриваются некоторые решения, позволяющие повысить интенсивность процессов теплообмена. Для каждого из известных трех способов передачи тепловой энергии с помощью теплопроводности, конвекции и лучистого теплообмена приведены решения, позволяющие повысить величину передаваемого теплового потока в теплообменных аппаратах электростанций.

Abstract. The report discusses some solutions to increase the intensity of heat exchange processes. For each of the three known methods of heat energy transfer using thermal conductivity, convection and radiant heat transfer, solutions are given that make it possible to increase the value of the transmitted heat flow in heat exchangers of power plants.

Ключевые слова: энергоэффективность, теплообменные аппараты, интенсификация теплообмена, электростанции.

Keywords: energy efficiency, heat exchangers, heat exchange intensification, power plants.

### **Введение**

В составе современных электростанций теплообменное оборудование – это самый большой класс оборудования, в который входят: котлы, градирни, конденсаторы, подогреватели сетевой воды, теплообменные аппараты системы регенерации и другие. Повышение интенсивности теплообмена поможет уменьшить основные габаритные размеры оборудования, уменьшить тепловые потери, уменьшить гидравлическое сопротивление движению теплоносителей, вследствие чего снизится потребление энергии для привода насосов и вентиляторов.

### **Основная часть**

Как известно, перенос тепловой энергии возможен тремя способами: с помощью теплопроводности, путем конвекции и лучистым (радиационным) теплообменом. Рассмотрим пути повышения интенсивности теплообмена для каждого из указанных способов в отдельности.

Теплопроводность – это способность материальных тел проводить тепловую энергию от более нагретых частей тел к менее нагретым путем движения частиц тела (атомов, молекул, электронов). Скорость передачи тепловой энергии с помощью теплопроводности будет зависеть от перепада температур в стенке теплообменного аппарата, от площади поверхности теплообмена, толщины слоя, в котором наблюдается перепад температуры и коэффициента теплопроводности, который, в свою очередь, зависит от агрегатного состояния тела, его физических свойств и химического состава. Свою роль в теплообмен будут вносить нестационарность процесса и наличие внутренних источников или поглотителей тепловой энергии (например, процессы конденсации или испарения).

В общем случае, повысить величину теплового потока возможно за счет увеличения площади поверхности теплообмена, например, путем увеличения размеров теплообменников или количества трубок, но с меньшим диаметром. Эти способы позволяют увеличить площадь, но вместе с этим может существенно вырасти гидравлическое сопротивление аппарата, что повлечет более значительные затраты энергии на собственные нужды. Увеличение размеров теплообменников будет оказывать негативное влияние на некоторые их характеристики – возрастет тепловая инерционность, материалоемкость, стоимость и эксплуатационные затраты.

Другой способ увеличения теплового потока – это уменьшение толщины стенки, через которую происходит теплообмен. В некоторых случаях величина толщины стенки не вносит значительного влияния на суммарный коэффициент термического сопротивления при передаче тепловой энергии от одного теплоносителя к другому. Это часто бывает в ситуации, когда одна или две из обменивающихся тепловой энергией сред будут в газовом состоянии и их плотность будет невелика, вследствие чего, их коэффициент теплоотдачи тоже будет невысок. Это увеличивает суммарное термическое сопротивление и уменьшает влияние сопротивления стенки в него. В этом случае не имеет смысла уменьшать толщину стенки теплообменной поверхности, потому что тепловой поток весомо не изменится. Также известны случаи, когда толщину стенки нельзя менять по конструктивным или эксплуатационным причинам. Например, одна из сред находится под высоким давлением, и уменьшение толщины стенки приведет к умень-

шению ее прочности с последующими деформациями поверхностей теплообмена и выходу из строя аппарата. В иных вариантах, при теплообмене сред с высоким коэффициентом теплоотдачи, уменьшение толщины стенки увеличит поток передаваемой тепловой энергии, что целесообразно совмещать с заменой материала стенки на более прочный и обладающий более высоким коэффициентом теплопроводности.

Увеличение коэффициента теплопроводности стенки аппарата путем замены материала стенки приведет к уменьшению суммарного термического сопротивления и увеличит тепловой поток. Для веществ, в том числе твердых материалов, коэффициент теплопроводности принимается часто постоянным, но на самом деле имеется зависимость коэффициента теплопроводности от температуры. Поэтому при выборе материала следует учитывать уровень температур, при которых происходит теплообмен.

При присутствии в теплообменном аппарате нестационарных процессов, на тепловой поток будут оказывать влияние также теплоемкость и плотность материала, которые определяют коэффициент температуропроводности. Более плотная и теплоемкая стенка сможет аккумулировать и затем отдать большее количество тепловой энергии.

Под конвективным теплообменом понимают процесс переноса тепла за счет перемещения подвижной среды. Этот вид теплообмена включает два элементарных способа: перенос тепла за счет конвекции, то есть перемещения жидкости или газа естественным, или вынужденным путем, и перенос тепла путем теплопроводности. Удельное значение потока тепла, переносимого конвективным теплообменом, описывается коэффициентом теплоотдачи, увеличение которого приводит к увеличению интенсивности процесса теплообмена. Конвекция возможна только в жидких средах, таких как газ или жидкость, и она связана с необходимостью перемещения среды. Различные механизмы переноса среды будут разделять конвекцию на свободную (естественную) и вынужденную (принудительную). В каждом из этих механизмов существуют свои различные способы повышения интенсивности теплообмена.

Скорость движения теплоносителя и его режим течения оказывают значительное влияние на коэффициент теплоотдачи. Но в случае вынужденной конвекции теплоноситель перемещается за счет внешних сил (под действием насосов, вентиляторами и пр.). Поэтому увеличение коэффициента теплоотдачи связано с увеличением скорости потока, с изменением режима его течения (от ламинарного к турбулентному). Тут необходимо повышать мощность и производительность агрегата, создающего движение, что приведет к росту потребляемой механической или электрической энергии для его привода. Но характер роста мощности привода и коэффициента теплоотдачи разный. При увеличении скорости потока в 2 раза, мощность, необходимая на привод увеличится в 8 раз, а коэффициент теплоотдачи при турбулентном движении вырастет в  $2^{0,8} \sim 1,74$  раза, что часто будет приводить к неоправданному росту потребляемой мощности.

Имеет смысл увеличивать скорость течения теплоносителя для перехода режима от ламинарного к турбулентному, так как при изменении режима течения резко увеличивается коэффициент теплоотдачи, и увеличение гидравлических потерь будет перекрываться значительным увеличением теплоотдачи.

При свободной конвекции движущая сила теплоносителя возникает из-за разности плотностей более горячих и более холодных зон, при этом нагреваемый теплоноситель движется вверх, а охлаждаемый вниз, а абсолютное значение этой силы зависит от конструкции аппарата, вязкости теплоносителя, коэффициента объемного расширения и протяженности конвективного потока. Важно совмещать в теплообменном аппарате направления движения теплоносителей от вынужденной и свободной конвекций, особенно при значительных значениях последней.

Есть много способов повышения коэффициента теплоотдачи, связанных с ростом числа Рейнольдса (увеличением степени турбулизации потока теплоносителя), ко-

торые незначительно влияют на гидравлическое сопротивление теплообменного аппарата. Примерами таких способов служат трубы с различного рода винтовыми выступами на внутренней поверхности, трубы со спирально-винтовой проволочной вставкой, спирально-профилированные трубы, трубы со спиральным внутренним и/или внешним оребрением, трубы с искусственными микронеровностями. Течение теплоносителя искусственно турбулизируется, при этом происходит активное перемешивание теплоносителя из пристенного слоя с остальной массой теплоносителя. В результате замены труб растет число Рейнольдса и коэффициент теплоотдачи, а гидравлические потери увеличиваются незначительно. Известные формулы помогут оценить рост коэффициента теплоотдачи в каждом конкретном случае.

Под лучистым или радиационным теплообменом понимают передачу тепловой энергии в виде электромагнитных волн. Данные волны частично видимы, так как находятся в видимом спектре, а частично незаметны для человеческого глаза, из-за нахождения их в инфракрасном и незначительно в ультрафиолетовых диапазонах спектра. Ряд тепловых аппаратов используют лучистый теплообмен в качестве основного вида передачи тепла в некоторых своих зонах (например, топка котла). Тепловое излучение – это результат внутриатомных процессов, возникающих на поверхности стенках теплообменных аппаратов и в частично прозрачных жидких и газовых теплоносителях.

Значение генерируемого теплового излучения для непрозрачной стенки в общем случае зависит от степени черноты тела и его температуры в четвертой степени. Поэтому для интенсификации теплообмена необходимы: высокая температуры стенки теплообменного аппарата и высокая степень черноты его поверхности. Излучательная способность газов зависит от его химического состава, толщины слоя и формы объема газа, в котором происходит генерация излучения, а также температуры. Причем некоторые виды газов, например, воздух и азот, являются прозрачными для теплового излучения и, соответственно, не генерируют его.

Свойства топлива, его химический состав и подготовка топлива перед сжиганием позволяют изменять степень черноты факела, увеличивая одновременно тепловой поток излучением. Конструкция форсунок, форма топки, степень черноты экранных трубок и режим циркуляции дымовых газов также вносят свой вклад в величину потока энергии, передаваемой лучистым теплообменом.

### **Заключение**

Комбинируя различные формы и конструкции теплообменных аппаратов, изменяя характер движения, скорости и некоторые другие параметры теплоносителей, применяя другие способы, указанные выше, можно добиться более высокой интенсификации процессов теплообмена, происходящих в тепловых аппаратах электростанций, тем самым повышая экономичность энергетических процессов.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Интенсификация теплообмена: учеб.пособие / В.Н.Белозерцев и др. – Самара: Из-во Самарского университета, 2018. – 208 с.: ил.
2. Михеев, М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.Н. Михеева. - М.: ВШ, 1973. - 343 с.
3. Теплотехника. Учебник для студентов вузов / Под общ.ред. В.И.Крутова.– М.:Машиностроение, 1986.– 432 с

УДК 621.438

Нецветаев Дмитрий Вячеславович, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Necvetaev Dmitriy Vyacheslavovich, magistant, Komsomolsk-na-Amure State University

Смирнов Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Smirnov Aleksey Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ОСОБЕННОСТИ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ STIG-ТЕХНОЛОГИИ**

### **FEATURES OF STEAM-GAS INSTALLATIONS BASED ON STIG TECHNOLOGY**

Аннотация. Развитие парогазовых технологий в энергетической отрасли нашей страны является одним из приоритетных направлений, обозначенных в Прогнозе научно-технологического развития топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года. Соответственно, представляют интерес вопросы, связанные с разработкой, внедрением и поиском путей повышения эффективности работы парогазовых установок. Одним из интересных направлений в области развития парогазовых технологий являются установки с применением STIG-технологий. Этому посвящена данная работа.

Abstract. The development of combined-cycle gas technologies in the energy sector of our country is one of the priorities outlined in the Forecast of scientific and technological development of the fuel and energy complex of Russia for the period up to 2035. Accordingly, issues related to the development, implementation and search for ways to improve the efficiency of combined-cycle gas plants are of interest. One of the interesting directions in the development of combined-cycle gas technologies is installations using STIG technologies. This is what this work is dedicated to.

Ключевые слова: парогазовые установки, впрыск воды/пара, особенности схем.

Key words: combined-cycle gas installations, water/steam injection, circuit features.

#### **Введение**

Согласно прогнозу научно-технологического развития отраслей, ТЭК России на период до 2035 года, одним из направлений развития электроэнергетики страны является разработка и внедрение отечественных газотурбинных установок большой мощности и парогазовых установок предельной мощности на их основе [1]. Соответственно, вопросы, связанные с проектированием и исследованием различных схем парогазовых установок, особенно применительно к условиям отечественной энергетики, представляют особый интерес.

#### **Основная часть**

В настоящее время классификация парогазовых установок, в целом, устоялась. Все основные виды таких установок были обозначены еще в XX веке. Следует отметить, что большая часть комбинированных парогазовых установок основывается на совмещении газовой и паровой частей. Данная работа посвящена одной из таких установок – парогазовой установке с использованием STIG-технологии. О перспективах применения таких установок говорилось в работе [2].

Интересным представляется рассмотреть схемные решения по применению STIG-технологии. Результаты этой работы представлены ниже.

В книге [3] приводится простейшая «классическая» схема контактной ПГУ. На рисунке 1 представлена эта схема и соответствующий ей цикл. На рисунке 2 представлена схема технологического процесса.

Увеличение мощности установки, отнесенной к расходу воздуха в компрессоре, объясняется следующими факторами:

- ростом общего расхода рабочего тела через газовую турбину;
- большей теплоемкостью потока.

В такой схеме не требуется затрачивать механическую энергию на сжатие пара в газовом состоянии.

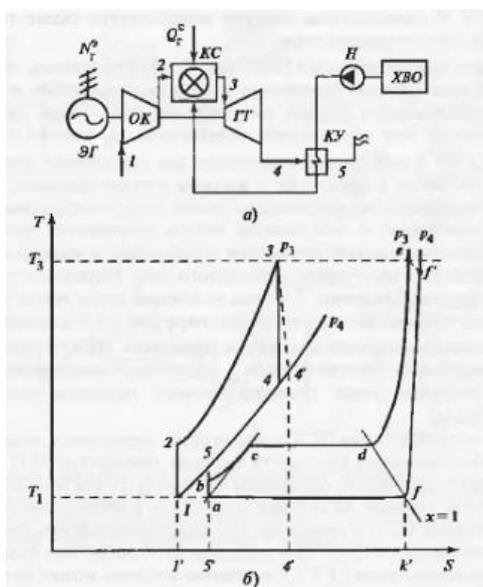


Рисунок 1 – Схема и цикл контактной парогазовой установки

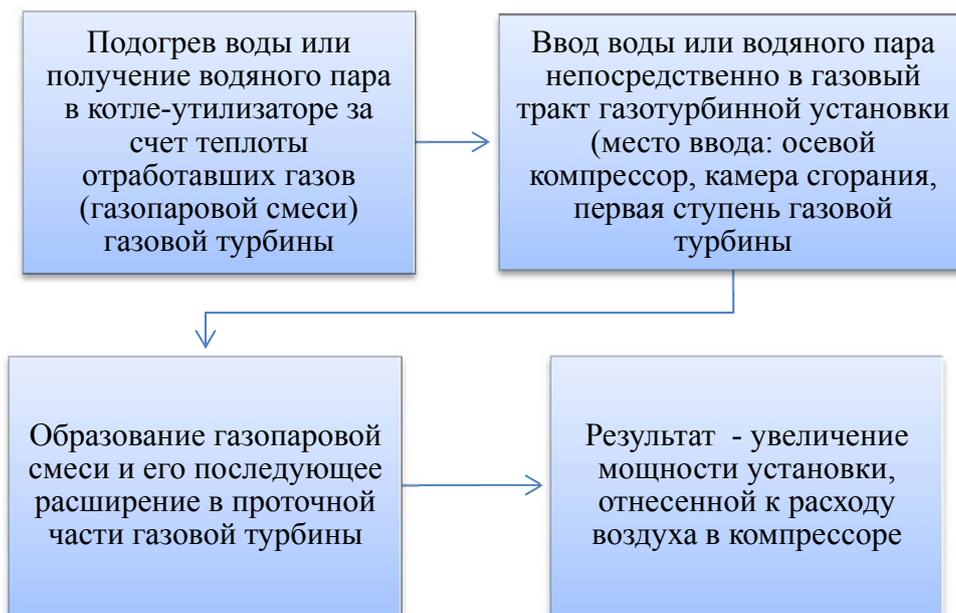


Рисунок 2 – Схема технологического процесса контактной ПГУ

Другая принципиальная схема установки, работающей по бинарному газопаровому циклу, представлена на рисунке 3 [4]. Согласно ей, генерация пара осуществляется в кипящем экономайзере КЭ. Сухой насыщенный пар поступает в смеситель СМ, в котором образуется равновесная парогазовая смесь, поступающая далее в турбину.

Необходимо отметить, что при характерных для современных ГТУ степенях сжатия ( $\pi_k = 15-25$ ), генерация пара соответствующего давления не потребует развитой химической водоочистки. Схемой предусмотрена возможность работы с отключенным паровым контуром, тогда отработавшие газы после газовой турбины направляются в регенератор Р.

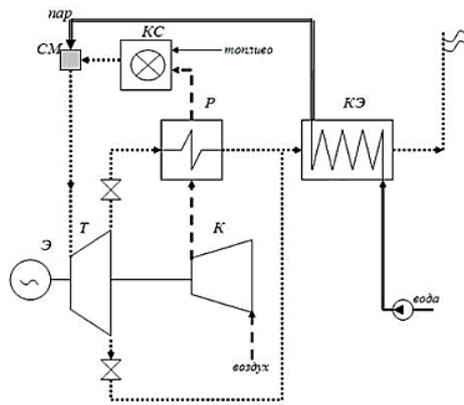


Рисунок 3 – Схема бинарной контактной ПГУ

Интересным представляется вариант контактной парогазовой установки типа «Водолей» (рисунок 4) [5].

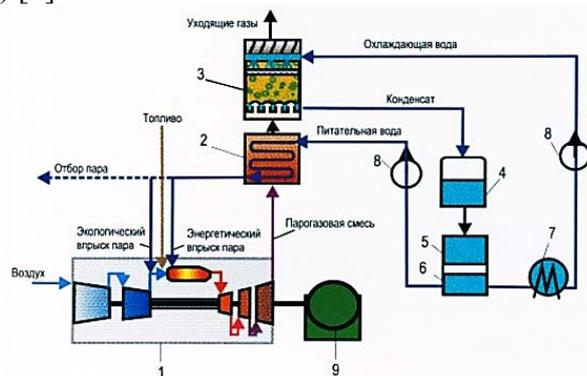


Рисунок 4 – Схема контактной парогазовой установки типа «Водолей»[5]

На рисунке 4 приняты следующие обозначения: 1 – газотурбинный двигатель; 2 – котел-утилизатор; 3 – контактный конденсатор; 4,5,6 – емкости для сбора и подготовки конденсата; 7 – охладитель; 8 – насос; 9 – генератор.

Основной особенностью представленной схемы является использование контактного экономайзера. Ведь недостатком парогазовых установок с технологией STIG является потеря воды с уходящими газами. А на подготовку воды (как правило, химическую) для впрыска затрачиваются определенные ресурсы. Также выброс водяного пара в больших количествах может оказывать влияние на микроклимат вокруг энергетического предприятия. Применение контактного конденсатора в схеме позволяет возвращать воду в технологический цикл.

### Заключение

Представленные в работе тепловые схемы позволяют понять суть применения STIG-технологий. Наиболее перспективной представляется контактная парогазовая установка типа «Водолей».

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Прогноз научно-технологического развития отраслей ТЭК России на период до 2035 года. –М: Минэнерго, 2016, 111 с.
2. Нецветаев, Д. В. Перспективы применения контактных газопаровых установок в стационарной энергетике / Д. В. Нецветаев, А. В. Смирнов // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 358-360. – EDN IBLUMS.

3. . Цанев, С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов. – М.: МЭИ, 2002.- 584 с.
4. Зысин Л.В. Парогазовые и газотурбинные установки. - СПб: Издательство Политехн ун-та, 2010.- 368 с.
5. Современная теплоэнергетика. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://staren.ru/heating/modern-heat-power-engineering.html>.

УДК 773.93

Петров Владимир Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Petrov Vladimir Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Куриный Владислав Викторович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Кораблестроения и компьютерного моделирования», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kuriny Vladislav Viktorovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Shipbuilding and Computer Engineering", Komsomolsk-na-Amure State University

### **РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ И ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДАМИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ DEVELOPMENT OF 3D MODEL AND SELECTION OF PARAMETERS FOR MANUFACTURING SEALED PRODUCTS USING ADDITIVE TECHNOLOGY METHODS**

Аннотация. В настоящее время появляется все больше задач по печати гидронепроницаемых изделий методами аддитивных технологий. В числе таких задач изделия промышленности различного назначения, корпусные изделия, компоненты беспилотных аппаратов, в том числе корпуса двухсредных БПЛА, различные электротехнические компоненты. Для испытаний диэлектрической прочности жидких диэлектриков согласно ГОСТ 6581-75 применяются специальные приборы. В портативных анализаторах диэлектрических свойств трансформаторного масла на пробой основой прибора является измерительная ячейка для трансформаторного масла. Она имеет форму небольшой ванночки. В измерительную ячейку заливается трансформаторное масло и посредством электроискровых разрядников с увеличением напряжения до 100 КВ проводится электроискровой разряд. Таким образом определяется устойчивость трансформаторного масла на пробой. В процессе эксплуатации часто происходит механическое повреждение измерительной ячейки.

Abstract. Currently, there are more and more tasks for printing waterproof products using additive technologies. Among such tasks are industrial products for various purposes, hull products, components of unmanned vehicles, including the hulls of two-medium unmanned aerial vehicles, various electrical components. Special devices according to GOST 6581-75 are used to check the dielectric strength of liquid dielectrics. In portable analyzers of dielectric properties of transformer oil for breakdown, the basis of the device is a measuring cell for transformer oil. It has the shape of a small container. Transformer oil is poured into the measuring cell and electric spark plugs are used to produce an electric spark discharge with an increase in voltage up to 100 kV. Thus, the resistance of transformer oil to breakdown is determined. Mechanical damage often occurs during the operation of the measuring cell.

Ключевые слова: гидронепроницаемость, анализатор диэлектрических свойств, измерительная ячейка, аддитивные технологии, 3D печать, дефекты 3D печати.

Key words: hydrotightness, dielectric properties analyzer, measuring cell, additive technologies, 3D printing, 3D printing defects.

## Введение

В настоящее время появляется все больше задач по печати гидронепроницаемых изделий методами аддитивных технологий. В числе таких задач изделия промышленного различного назначения, корпусные изделия, компоненты беспилотных аппаратов, в том числе корпуса двухсредных БПЛА, различные электротехнические компоненты. Из существующих методов 3D печати наиболее распространен способ печати FDM методом, так как он является более дешевым по сравнению с остальными методами печати аддитивных технологий и позволяет выбирать из широкого спектра различных пластиков и цветов [1-5].

Однако пробные печати изделий методом FDM изделий к которым предъявляются особые требования по гидронепроницаемости было установлено, что печать со стандартными настройками из пластика PLA не позволяет получить необходимую гидронепроницаемость [1,2].

## Разработка 3D модели и подбор параметров

Для испытаний диэлектрической прочности жидких диэлектриков согласно ГОСТ 6581-75 применяются специальные приборы. В портативных анализаторах диэлектрических свойств, трансформаторного масла на пробой основной прибор является измерительная ячейка для трансформаторного масла. Она имеет форму небольшой ванночки (рисунок 1). В измерительную ячейку заливается трансформаторное масло и посредством электроискровых разрядников с увеличением напряжения до 100 КВ проводится электроискровой разряд. Таким образом определяется устойчивость трансформаторного масла на пробой. В процессе эксплуатации часто происходит механическое повреждение измерительной ячейки.



Рисунок 1 – Измерительная ячейка для трансформаторного масла

В результате было проведено 3D-моделирование в программном комплексе T-Flex 17. Разработана параметрическая 3D модель, на основе которой в слайсере Cura 5.1 создан G-код для печати измерительной ячейки. В результате изготовлена измерительная ячейка с геометрическими характеристиками аналогичными оригинальной измерительной ячейкой (рисунок 2). В качестве материала был применен пластик PETG и стандартные режимы печати, выставяемые слайсером Cura 5.1 по умолчанию. Заполнение напечатанного изделия составило 30%. Температура печати 225 °С. Шаблон заполнения – «Линии». Температура стола 70 °С.

Пластик PETG был выбран из-за его физико-механических свойств и полной инертности к воде. После изготовления была проведена серия пробных испытаний трансформаторного масла на электроискровой пробой. В процессе испытаний было обнаружено просачивание масла через двойную стенку наружу. Кроме того, часть масла осталась внутри напечатанного изделия. В результате последующих взвешиваний и замеров определено, что до 40% объема масла было потеряно путем просачивания через стенки изделия. Для определения оптимальных режимов печати в программном комплексе T-Flex 17 была смоделирована параметрическая модель аналогичная по толщине стенки и гидростатическому давлению измерительной ячейки (рисунок 3).

В результате серии проведенных экспериментов были подобраны оптимальные режимы печати. Часть серии экспериментов приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Частичные результаты серии экспериментов

Номер эксперимента	Т. Печати °С	Поток, %	Высота слоя, мм	Заполнение, %	Вес сухой гр.	Вес с маслом, гр	Вес через сутки с маслом, гр	Вес через сутки без масла, гр	Толщина дна, мм	Процент перекрытия %
Проба 1	225	100	0,2	30	132	279	272	202	0,8	0
Проба 2	245	110	0,2	30	115	259	259	118	0,8	10
Проба 3	245	110	0,2	30	119	273	273	122	1,8	10

По определенным оптимальным режимам печати была изготовлена экспериментальная измерительная ячейка для трансформаторного масла и передана заказчику для проведения натуральных испытаний.



Рисунок 2 – Изготовленная измерительная ячейка для трансформаторного масла



Рисунок 3 – 3D модель для отработки режимов печати гидростатически плотных изделий

### Заключение

Таким образом, для изготовления гидронепроницаемых по маслу изделий необходимо тщательно выбирать режимы печати. Определяющими для улучшения плотности печати являются следующие параметры; температура печати, поток, высота слоя и процент перекрытия. Также дополнительными факторами, повышающими плотность изделия, являются термообработка поверхности изделия и окрашивание поверхности грунтовками. Разработанная технология подбора оптимальных режимов печати может быть использована для подбора режимов печати изделий, работающих в водной среде.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Двухсредный беспилотный летательный аппарат / В. В. Солецкий, М. С. Ньюнякина, А. А. Перевалов, В. В. Куриный // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2019. – Т. 1, № 2(38). – С. 4-15.
2. Куриный, В. В. Особенности технологии изготовления корпусов двухсредных беспилотных аппаратов методом послойного наплавления FDM (Fuseddepositionmodeling) / В. В. Куриный, В. В. Солецкий, Лю Бинь // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 2-2(52). – С. 34-41.
3. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров / М. А. Зленко М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – Москва : ГНЦРФФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
4. RepRap – the replicating rapid prototype/ R. Jones, P. Haufe, E. Sells, P. Iravani, V. Oliver, C. Palmer, A. Bowyer // Robotica. – 2011. – Vol(29). – P. 177-191.

5. RepRap: The replicating rapid prototyper: Maximizing customizability by breeding the means of production / E. Sells, S. Bailard, Z. Smith, A. Bowyer, V. Olliver // Handbook of Research in Mass Customization and Personalization, 2010. – P. 568-580.

УДК 621.578

Пиголицына Элина Александровна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Pigolitsyna Elina Alexandrovna, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Хвостиков Александр Станиславович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Khvostikov Flexandr Stanislavovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department "Thermal power plants", Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА ТРИГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ТЕПЛОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ НУЖД ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА DEVELOPMENT OF A TRIGENERATION PLANT BASED ON A THERMAL POWER PLANT FOR THE NEEDS OF A GAS PROCESSING PLANT**

Аннотация. Газоперерабатывающие предприятия требуют повышенного потребления энергии, включая использование холода. Тепловые электрические станции, вырабатывающие для этих предприятий электрическую энергию, могут потенциально вырабатывать не только тепловую энергию, но и холод (с учетом использования низкопотенциальных источников теплоты). В работе предложены варианты повышения термодинамической эффективности тепловой электрической станции, заключающиеся во внедрении в технологический цикл электростанции тригенерационной установки. Помимо выработки на электростанции тепловой и электрической энергии, предлагается также с помощью абсорбционных холодильных машин вырабатывать холод для охлаждения изопентана и пропана.

Abstract. Gas processing plants require increased energy consumption, including the use of cold. Thermal power plants that generate electrical energy for these enterprises can potentially generate not only thermal energy, but also cold (taking into account the use of low-potential heat sources). The paper suggests options for increasing the thermodynamic efficiency of a thermal power plant, which consist in introducing a trigeneration plant into the technological cycle of a power plant. In addition to generating thermal and electrical energy at the power plant, it is also proposed to use absorption refrigerating machines to generate cold for cooling isopentane and propane.

### **Введение**

Для газоперерабатывающих предприятий характерно повышенное потребление энергетических ресурсов. Внедрение энергосберегающих технологий в газоперерабатывающей отрасли позволит повысить конкурентные преимущества предприятий и снизить затраты на производства продукта.

Наиболее энергоемкими процессами газовой переработки является ректификация (процесс разделения), сопровождающийся повышенным потреблением тепловой энергии пара и электрической энергии на охлаждение продукта. Эти виды энергии для предприятия вырабатывает тепловая электрическая станция. Но при этом возвращаемы на станцию теплоноситель имеет достаточной высокую температуру. Для повышения доли использования теплоты можно использовать тригенерацию – совместную выработку тепловой, электрической энергии и холода. Это решение можно реализовать пу-

тем использования тепловых насосов. При наличии большого количества низкопотенциального тепла наиболее целесообразно применение абсорбционных тепловых насосов, что значительно может снизить потребление электрической энергии по сравнению с компрессорными холодильными машинами [1, 2]. Применение абсорбционных тепловых насосов позволит утилизировать теплоту низкопотенциальных источников и выработать холод на сжижение продуктов ректификации газового топлива.

### **Основная часть**

Согласно итогам энергетического обследования газоперерабатывающих предприятий, наиболее перспективным способом осушки газа и очистки его от кислых компонентов представляется использование низкопотенциальных источников тепла, с целью экономии расхода пара, с помощью тепловых насосов. Энергетическое обследование проводилось на Сургутском заводе стабилизации конденсата, Оренбургском газоперерабатывающем, Оренбургском гелиевом заводе и Амурском газоперерабатывающем заводе.

Наиболее емким низкопотенциальным источником теплоты на заводах стабилизации конденсата является конденсат блока извлечения изопентана с узлом получения пропана. На установках разделения широких углеводородов потребляется 91 т/ч пара с температурой в диапазоне от 100 до 180 °С (в зависимости от требований технологического процесса) для переработки 480 тонн исходного сырья. Энергетическое обследование показало, что температура конденсата на выходе из испарителей составляет 104÷107 °С.

На газоперерабатывающих заводах и заводах производства гелия потребляется пар с давлением 0,6 МПа и температурой 180 °С и расходом 900 т/ч. По технологическим параметрам конденсат не может быть охлажден до температуры ниже 115-130 °С. Для возвращения теплоты в цикл энергетического производства конденсат используют для подогрева сетевой воды. Зачастую такое количество тепловой энергии на теплофикацию не требуется, и большая часть теплота уходит в установках воздушного охлаждения в атмосферу. Также в летние месяцы возникают трудности с возвратом горячего конденсата в цикл электрической станции из-за применяемого в настоящее время материала труб.

Для утилизации теплоты конденсата предлагается использовать абсорбционную бромистолитиевую холодильную машину, схема которой представлена на рисунке 1. Греющая вода из бака сбора конденсата поступает в генератор. Тепло отдаваемое в генератор испаряет слабый раствор бромистого лития. Охлаждающая вода с температурой 27 °С подается в абсорбер, отдавая часть теплоты и испаряя крепкий раствор бромистого лития. После этого охлаждающая вода уходит в конденсатор, заставляя конденсироваться водяной хладагент. Охлаждающая вода нагревается до температуры 35 °С. Охлаждаемый продукт подается в испаритель, который охлаждается за счет испарения водяного хладагента из парообразного крепкого раствора бромистого лития, образовавшегося в абсорбере. Холодильная машина позволяет охладить продукт со 120 до 7 °С. Конденсатор с генератором, а также испаритель с абсорбером выполняют в единых корпусах, поскольку имеют одинаковое давление внутри и газы, образующиеся в них, сообщаются.

Для охлаждения парового конденсата на установках извлечения изопентана предлагается установка двух последовательно расположенных холодильных машин: на первой происходит охлаждение конденсата со 115 до 105 °С, на второй конденсат дополнительно охлаждается до 80 °С. Суммарная холодильная мощность составляет 600 + 550 = 1150 кВт и может быть направлена на охлаждение изопентана. Экономический эффект от внедрения данного решения составляет 15 млн. руб./год со сроком окупаемости менее 1,5 лет.

Установка двух последовательных холодильных машин на гелиевых заводах на установках осушки газа позволит охладить конденсат на 26 °С и позволит сократить мощность пропановой холодильной машины на 843 кВт [3]. В качестве охлаждающей воды может быть использован паровой конденсат от ребойлеров нагрева аминов. Аналогично решению выше, внедрение таких холодильных машин окупится за 1,5 года.

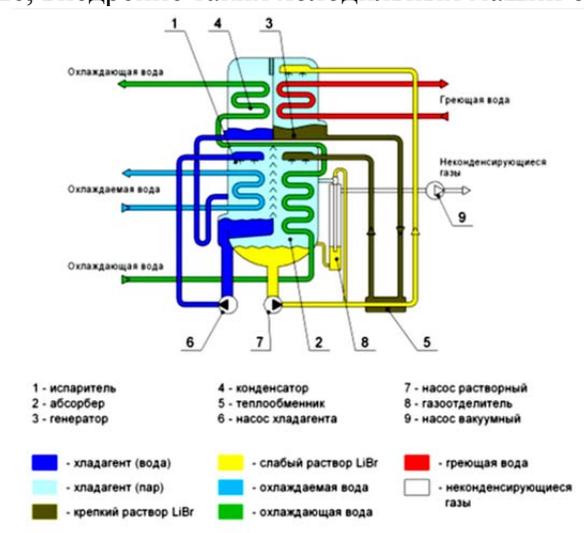


Рисунок 1 – Схема абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины

### Заключение

В работе предложены варианты повышения тепловой эффективности тепловой электрической станции, заключающиеся во внедрении в цикл электростанции тригенерационной установки. Электростанция, производящая тепловую и электрическую энергию, оснащается абсорбционными холодильными машинами, производящими энергию холода для охлаждения изопентана и пропана. Применение холодильных машин позволяет снизить потребление электрической энергии на охлаждение продуктов в воздушных холодильных машинах, снизить потери производительности из-за недоохлаждения в летний период на 10-20% и предотвратить сброс неконденсированного изопентана в атмосферу в летние периоды.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пиголицына, Э. А. Анализ конструкций установок генерации холода / Э. А. Пиголицына, А. С. Хвостиков // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению: Материалы II Международной научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 14–18 ноября 2022 года / Редколлегия: А.В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 223-227. – EDN TGEABR.
2. Пиголицына, Э. А. Внедрение генерации холода на Свободненской ТЭЦ для нужд Амурского газоперерабатывающего завода / Э. А. Пиголицына, А. С. Хвостиков // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 07–11 февраля 2022 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 443-444. – EDN MNCHGD.
3. Шомова, Т. П. Повышение энергетической эффективности газоперерабатывающих предприятий на основе применения тепловых насосов : специальность 05.14.04 "Промышленная теплоэнергетика" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шомова Татьяна Петровна. – Иваново, 2014. – 19 с. – EDN ZPMAZH.

УДК 66.045.1

Сорока Николай Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Soroka Nikolai Alexandrovich, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Хвостиков Александр Станиславович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Khvostikov Flexandr Stanislavovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department "Thermal power plants", Komsomolsk-na-Amure State University

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В КОНТАКТНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ С ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**  
**MODELING OF HEAT TRANSFER IN CONTACT HEAT EXCHANGERS WITH INTENSIFIERS BY THE FINITE ELEMENT METHOD**

Аннотация. Методы расчета теплообменных аппаратов на основе теории подобия не могут обеспечить требуемой точности. В последнее время с развитием компьютерных методов расчета возможности получения действительных характеристик теплообменных аппаратов значительно увеличились. В статье рассмотрены основные положения расчета теплообменных аппаратов методом конечных элементов. Решение состоит из следующих основных этапов: создание геометрии, задание рабочей сетки и основных параметров модели. В статье описана последовательность расчета и поставлены задачи исследования. Результаты исследования могут быть использованы для определения оптимальных размеров и вида интенсификаторов теплообмена.

Abstract. Methods for calculating heat exchangers based on the theory of similarity cannot provide the required accuracy. Recently, with the development of computer calculation methods, the possibilities of obtaining the actual characteristics of heat exchangers have increased significantly. The article discusses the main provisions of the calculation of heat exchangers by the finite element method. The solution consists of the following main steps: creating a geometry, setting a working grid and basic model parameters. The article describes the calculation sequence and sets the research objectives. The results of the study can be used to determine the optimal size and type of heat transfer intensifiers.

Ключевые слова: модель процесса теплообмена, интенсификация, метод конечных элементов, эффективность, материалоемкость.

Key words: heat transfer process model, intensification, finite element method, efficiency, material consumption.

**Введение**

Проблема энергосбережения в процессах производства и передачи теплоты является важным и актуальным вопросом. Количество теплоты, передаваемое через поверхность теплообмена, ограничивается ее площадью. Увеличить скорость теплообмена в поверхностных теплообменниках способны интенсификаторы теплообмена. Интенсификаторы не только увеличивают площадь теплообмена, но и способствуют более интенсивному перемешиванию холодных и горячих слоев теплоносителя. Существует большое количество способов интенсификации теплообмена [1], однако, способы расчета теплообменных аппаратов носят полуэмпирический характер и строятся на основе теории подобия. Использование в расчете отдельных допущений делает оправданным такую методику только для расчета типовых слаботяженных теплообменных аппаратов [3]. В последнее время с развитием компьютерных методов расчета возможности

получения действительных характеристик теплообменных аппаратов значительно увеличились. В статье рассмотрены основные положения расчета теплообменных аппаратов методом конечных элементов.

### Основная часть

Решение задач по определению эффективности работы теплообменного оборудования включает в себя совместное решение уравнений газовой динамики и теплообмена. Решение такой задачи возможно с помощью комплекса мультифизических пакетов анализа. В данной статье рассмотрено моделирование теплообмена с помощью пакета ANSYS Workbench в проекте Fluid Flow (Fluent). Решение состоит из следующих основных этапов: создание геометрии, задание рабочей сетки и основных параметров модели [2].

Составление полномасштабной модели теплообменника не имеет практического смысла. Оценить эффективность теплообмена возможно по модели секции теплообменного аппарата. Создание полномасштабной модели теплообменника становится целесообразным при рассмотрении конструкции теплообменника с изменением направления движения, что наблюдается в многоходовых теплообменных аппаратах [4]. Геометрическая модель секции теплообменного аппарата представлена на рисунке 1. Геометрическая модель состоит из трех элементов: части греющего пара, трубки с интенсификаторами и нагреваемой жидкости. После построения геометрической модели необходимо присвоить соответствующие наименования областям, и после тип областей пара и нагреваемой жидкости изменить с твердого тела на жидкий.

Процесс создания расчетной сетки состоит в уточнении размера сетки. Размер сетки напрямую влияет на продолжительность расчета. Элементы сетки должны быть такими, чтобы направление потока и его параметры (давление, скорость температура) отличались с допустимой погрешностью вычисления. Размеры сетки разделяются на пристеночные области и тело жидкости. С целью определения оптимального размера сетки предлагается провести исследование влияния размеров сетки на результаты расчета. Выбранный максимальный размер сетки должен обеспечивать адекватность расчетов.

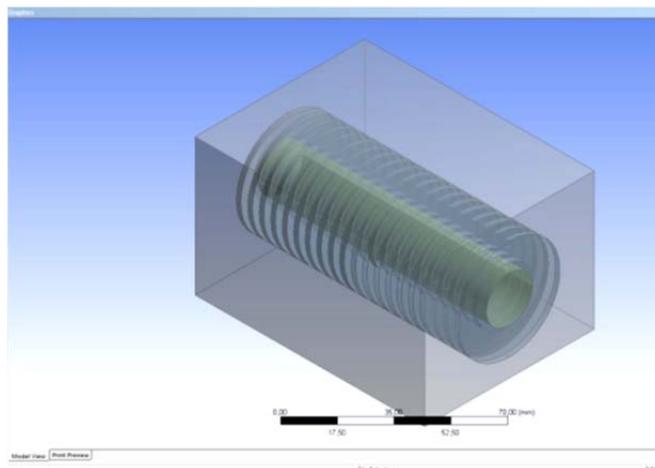


Рисунок 1 – Вид геометрической модели секции теплообменного аппарата

В процедуру задания сетки входит процесс создания именованных областей. Обозначаются поверхности входа и выхода потока нагреваемой жидкости и греющего пара (4 области) – это будут области граничных условий.

Далее выбираются основные параметры модели. Рассматриваемая задача является стационарной, то есть независимой от времени, и трехмерной. Решение модели целесообразно проводить с помощью алгоритма установления (Pressure Based), предназначенного для решения низкоскоростных потоков. Решаемая задача может быть

решена практически для любой модели турбулентности. Для сокращения объема вычислений можно воспользоваться  $k$ - $\epsilon$  моделью. Для совместного решения задач течения и теплообмена включаем в расчет уравнение энергии. Следующим этапом является выбор параметров модели и задание материалов рабочего тела. В качестве материалов рабочего тела задается вода и пар. Для твердотельной части задается материал медь.

После составления модели переходим к заданию граничных условий. Граничные условия определяются давлением или расходом рабочего тела. В качестве параметров входного сечения целесообразно выбрать массовый расход. Также задаются начальные параметры рабочих тел. В качестве параметров выходного сечения можно выбрать давление рабочей среды.

Завершающим этапом создания модели является настройка процесса решения задачи. Оптимальным способом решения задачи представляется применение дискретизации первого порядка для первых десяти этапов вычисления с последующим повышением уровня дискретизации. После этого устанавливаются первоначальные значения в расчетной области, и запускается процесс решения [2].

В ходе первоначального исследования было выявлено, что интенсификаторы теплообмена вызывают завихрения потока жидкости рабочей среды и перемешивание относительно холодных и горячих слоев. При этом, такое движения потока вызывает дополнительное гидравлическое сопротивление. Величина обозначенных эффектов зависит от величины завихрителей. Для исследования предлагается проанализировать влияние на эффективность теплообмена размеров интенсификаторов теплообмена для различных видов интенсификаторов и их расположения в греющей или нагреваемой среде.

### **Заключение**

В статье было описана последовательность расчета и поставлены задачи исследования. Результаты исследования могут быть использованы для определения оптимальных размеров и вида интенсификаторов теплообмена при проектировании реальных теплообменных аппаратов.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Сорока, Н. А. Интенсификация теплообмена в теплообменных аппаратах / Н. А. Сорока, А. С. Хвостиков // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 371-374. – EDN ECCGTQ.
2. Численное моделирование тепловых процессов в теплообменных аппаратах [Электронный ресурс]: [метод. указания к лаб. работе] / М-во образования и науки Рос. Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева, Ин-т двигателей и энергет. установок, Каф. теплотехники и тепловых двигателей; [сост. Д. А. Угланов]. - Самара : Изд-во Самар. ун-та, 2017
3. Валиулин, С. Н. Математическое моделирование процессов тепломассопереноса в перекрестноточном теплообменном аппарате / С. Н. Валиулин, В. В. Шабаров // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2008. – № 2. – С. 115-121. – EDN UJXNHR.
4. Нигматзянов, А. Р. Численное моделирование кожухотрубчатого теплообменника в программном комплексе ANSYS CFX / А. Р. Нигматзянов, А. А. Салин // Вестник Технологического университета. – 2024. – Т. 27, № 3. – С. 96-100. – DOI 10.55421/1998-7072\_2024\_27\_3\_96. – EDN ADSPVK.

УДК 621.18

Сычев Давид Андреевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sychev David Andreevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Хвостиков Александр Станиславович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Alexander Stanislavovich Khvostikov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department "Thermal power plants", Komsomolsk-na-Amure State University

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЦИКЛОННО-ВИХРЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В ПАРОВОМ КОТЛЕ IMPROVEMENT OF CYCLONE-VORTEX TECHNOLOGY OF FUEL COMBUSTION IN A STEAM BOILER**

Аннотация. Повышение эффективности работы котельного оборудования возможно за счет применения технологии циклонно-вихревой технологии сжигания различного топлива. Применение циклонно-вихревой технологии сжигания для котлов, первоначально не предназначенных к вихревому сжиганию, с целью повышения эффективности, снижения вредных выбросов, и продления ресурса эксплуатации, возможно за счет внедрения в существующие котлы усовершенствованных циклонно-вихревых предтопок. В статье рассмотрена возможность модернизации паровых котлов для сжигания топлива в низкотемпературном вихре. Модернизация пылеугольных паровых котлов с установкой вихревых предтопок обеспечивает снижение недожога и шлакования поверхностей нагрева при минимальном изменении конструкции. В работе рассчитаны основные характеристики предтопка и произведен выбор из известных конструкций предтопок устанавливаемых на пылеугольных котлах.

Abstract. Increasing the efficiency of boiler equipment is possible through the use of cyclone-vortex technology for burning various fuels. The use of cyclone-vortex combustion technology for boilers that were not originally designed for vortex combustion, in order to increase efficiency, reduce harmful emissions, and extend the service life, is possible through the introduction of advanced cyclone-vortex preburners into existing boilers. The article considers the possibility of modernizing steam boilers for burning fuel in a low-temperature vortex. Modernization of pulverized coal steam boilers with the installation of vortex preburners reduces underburning and slag formation of heating surfaces with minimal design changes. In the work, the main characteristics of the pre-furnace are calculated and a choice is made from the known designs of pre-furnaces installed on pulverized coal boilers.

Ключевые слова: паровой котел, механический недожог, шлакование, вихревое сжигание, циклонно-вихревой предтопок

Key words: steam boiler, mechanical underburning, slagging, vortex combustion, cyclone-vortex preburning

### **Введение**

Работа по повышению эффективности работы паровых котлов с помощью его модернизации относится к приоритетным направлениям развития энергетики. Современное состояние энергетических котлов Дальнего Востока находится на довольно низком уровне из-за сильного износа основного оборудования. Значительное влияние на эффективность энергетического оборудования оказывает поставляемое топливо. В последнее время из-за выработки запасов Райчихинского месторождения, уголь которого долгое время являлся основным проектным топливом для теплового энергетиче-

ского оборудования Дальнего Востока, эффективность работы котельных агрегатов на непроектных топливах резко снизилась. Анализ поставляемых углей Переяславского, Уральского и Тугнуйского месторождений взамен проектного угля Райчихинского месторождения говорит о том, что теплота сгорания и зольность непроектных топлив значительно выше по сравнению с проектным. Также активно котельное оборудование переводится на сжигание газового и мазутного топлива.

Повышение эффективности работы котельного оборудования возможно за счет применения циклонно-вихревой технологии сжигания различного топлива. Применение циклонно-вихревой технологии сжигания для котлов, первоначально не предназначенных к вихревому сжиганию, с целью повышения эффективности, снижения вредных выбросов, и продления ресурса эксплуатации, возможно за счет внедрения в существующие котлы усовершенствованных циклонно-вихревых предтопок.

### **Основная часть**

Большинство котельных агрегатов Дальнего Востока работают на основе вихревого сжигания. Главный недостаток вихревого сжигания – невозможность регулировать процесс сгорания. При изменении вида топлива происходит изменение условий работы котельного оборудования, что снижает эффективность его работы. Вихревой способ сжигания, основанный на круговом движении сжигаемого топлива, позволяет ему циркулировать сколь угодно долго – сколько необходимо для газификации и полного сгорания топлива. Вихревые топки имеют форму, позволяющую более эффективно закручивать поток воздушной угольной смеси. Модернизация топок без перестройки формы возможна с помощью специальных устройств – предтопок, в которых происходит образование управляемого вихря.

Первоначально проектирование котлов с вихревым сжиганием велось на основе созданий вихря в вихревых предтопках. Такие технологии не нашли технического применения из-за высоких температур, воздействия жидкого шлака, сложной системы водяного охлаждения. Последующие разработки, из-за невозможности снижения негативного воздействия высоких температур на стенки предтопка, велись в направлении создании факельного ступенчатого сжигания с вихревым движением всего факела. Внедрение вихревых топок, преимущественно в нижней части топки, приводит к интенсивному износу и шлакованию поверхностей нагрева, что стимулирует разработки циклонно-вихревых предтопок, продолжающиеся в настоящее время как в иностранных фирмах [1], так и в отечественных [2].

За основу в работе взята конструкция циклонно-вихревого предтопка компании Babcock & Wilcox USA, являющейся мировым лидером в котлостроении с вихревым сжиганием и конструкции предтопок российских исследователей [3, 4], конструктивно схожие с представленной на рисунке 1 конструкцией. Наибольшее распространение получили горизонтальные предтопки. В зону предтопка с торца подается пылеугольная смесь.

Рассмотрим модернизацию порового котельного агрегата БКЗ-210-140 с переводом на вихревое сжигание топлива. Согласно рекомендациям [5], для перевода на вихревое сжигание необходима установка четырех циклоно-вихревых предтопка мощностью 65 МВт.

Исходя из рекомендаций [5], тепловая напряженность водоохлаждаемого циклонно-вихревого предтопка  $q_{\text{п}} = 21 \text{ МВт/м}^3$ . Рассчитаем объем предтопка, который составил  $V_{\text{т}} = 3,1 \text{ м}^3$ . Для предтопок в диапазоне  $0,8 \div 4,8 \text{ м}^3$  внутренний диаметр предтопка можно рассчитать по формуле  $D_{\text{п}} = 1,08 \cdot V_{\text{п}}^{0,35} = 1,6 \text{ м}$ . Полученные значения необходимо сверить с предельными значениями теплонпряжений сечения предтопка (рисунок 2). Для высоких значений теплонпряжений предтопка необходимо принимать значение калибра в пределах  $1,08 \div 1,15$ . Отрегулировав таким образом значения

диаметра и длины предтопка была принята конструкция предтопка, предложенная в источнике [5] и изображенная на рисунке 3.

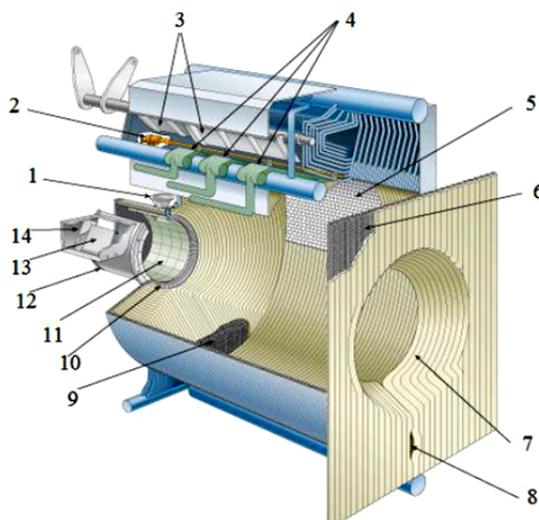


Рисунок 1 – Циклонный предтопок конструкции Babcock & Wilcox [1]:  
 1-вход угольной пыли; 2- жидкотопливная горелка; 3-заслонка регулирования скорости вторичного воздуха; 4-газовые горелки; 5- зона ошипованной поверхности; 6-экранная панель топки котла; 7- выходная амбразура; 8-шлакоотвод; 9- экранная панель циклонного предтопка; 10-ошипованная амбразура; 11-износостойкая обмуровка; 12-радиальная горелка; 13-первичный воздух; 14-третичный воздух.

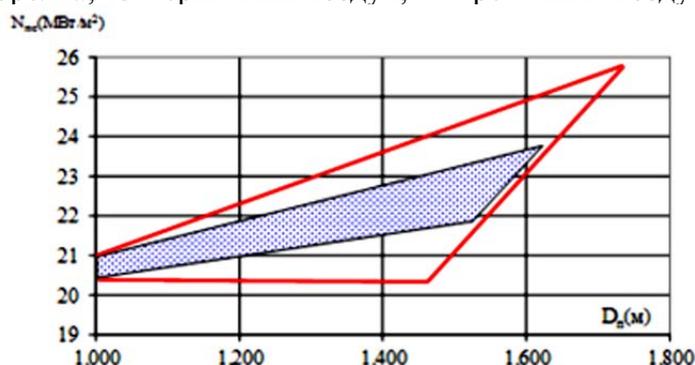


Рисунок 2 – О оптимальные области значений теплонапряжений сечения камеры сгорания в зависимости от диаметра предтопка.

■ - Область оптимальных значений, — граница критических значений.

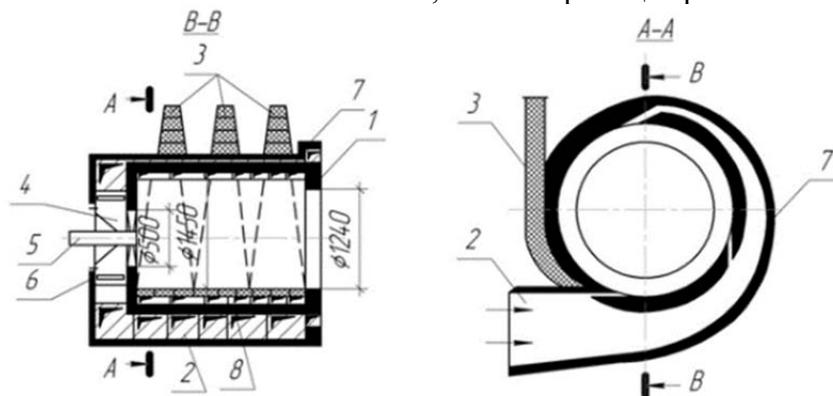


Рисунок 3 – Циклоно-вихревой предтопок с тангенциальным вводом угольной пыли:  
 1 – камера сгорания; 2 – подвод вторичного воздуха; 3 – подвод аэросмеси; 4 – подвод осевого воздуха; 5 – мазутная форсунка; 6 – регулятор крутки осевого воздуха; 7 – обмуровка; 8 – ввод аэросмеси в камеру сгорания [5]

Циклоно-вихревые предтопки конструируются для сжигания угля и жидкого топлива, для чего предтопки оснащаются мазутной форсункой. Для организации вихревого сжигания паровой котел снабжается четырьмя предтопками: по две навстречу друг другу по фронту котла. Для обеспечения устойчивого горения установка предтопок рекомендуется на уровне пылеугольных горелок.

#### **Заключение**

В статье рассмотрена возможность модернизации паровых котлов для сжигания топлива в низкотемпературном вихре. Модернизация пылеугольных паровых котлов с установкой вихревых предтопок обеспечивает снижение недожога и шлакования поверхностей нагрева при минимальном изменении конструкции. В работе рассчитаны основные характеристики предтопка и произведен выбор из известных конструкций предтопок, устанавливаемых на пылеугольных котлах.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Pat. 7,926,432 B2 United States, Int. Cl.7 F23D 1/2(20060101), Low NO.sub.x cyclone furnace steam generator / Gerald J. Maringo; and oth. // Babcock & Wilcox Power Generation Group, Inc., Appl № 11/720,506; filed: Feb. 6, 2006; date of patent: Apr. 19, 2011.
2. Штым, К.А. Модернизация котлов КВГМ-100-150 на циклонно-вихревое сжигание газа / К.А. Штым, Т.А. Соловьева // Теплоэнергетика. – 2015. - №3. – С. 48-50
3. Плазменно-циклонная технология сжигания твердых топлив / Ю. Е. Карпенко, В. Е. Мессерле, Е. И. Карпенко, А. П. Басаргин // Теплоэнергетика. – 2014. – № 8. – С. 68. – DOI 10.1134/S0040363614060046. – EDN SGVWOX.
4. Пат. 2190154 Российская Федерация, МПК7 F 23 C 5/32, 1/10, Циклонный предтопок (варианты, угольный) / А.Н. Штым, К.А Штым, В.А. Рудницкий и др. // Владивосток. АННО Центр МКТ №2000126373/06; заявл. 19.10.2000 опубл. 27.09.2002, Бюл.№27 10 с.
5. Опыт эффективного использования энергетических ресурсов Дальнего Востока: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). – 2014. – № 12. – 168 с.– М.: издательство «Горная книга».

УДК 629.5.04

Теплов Владимир Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Teplov Vladimir Alexandrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Каменских Ираида Витальевна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kamenskikh Iraida Vitalievna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Shipbuilding and Computer Engineering”, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ПОМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ЭКИПАЖА НА КРУПНОТОННАЖНЫХ СУДАХ CREW ACCOMMODATIONS ON LARGE-TONNAGE SHIPS**

Аннотация. В работе приведены основные группы помещений, перечислены основные параметры, влияющие на формирование жилых помещений в надстройке судна. Отмечено отличие определения понятия «надстройка» от надстроек крупнотоннажных судов. Описаны характеристики микроклимата в жилых помещениях экипажа и технические средства его поддержания.

Abstract. The paper presents the main groups of premises, lists the main parameters influencing the formation of living quarters in the superstructure of a vessel. The difference in the definition of the concept of "superstructure" from the superstructures of large-tonnage vessels is noted. The characteristics of the microclimate in the living quarters of the crew and the technical means of maintaining it are described.

Ключевые слова: надстройка, помещения судна, экипаж судна, обитаемость судна.

Keywords: superstructure, ship's premises, ship's crew, ship's habitability.

### Введение

Современные транспортные суда спроектированы для выполнения основной задачи – перевозки грузов. Архитектурный тип транспортного судна можно описать следующим образом: однокорпусное судно с баком и ютом с кормовым (реже носовым) расположением блока помещений экипажа. Помещения судна по основному назначению разделены на группы [1]. Наибольшие по размеру и наилучшим образом расположенные на судне - это грузовые (трюмы и твиндеки, судовые цистерны - танки). Механизмы и оборудование, электрогенераторы, главный двигатель наиболее часто размещены в кормовой части корпуса судна и части надстройки (в служебных помещениях). С 70-х годов XX века стремительно увеличиваются размеры специализированных судов: танкеры, балкеры, контейнеровозы. Длина некоторых судов стала уже более 300 м. Изменения затронули и надстройки судна.

### Проблемы терминологии и размещения помещений для экипажа

Силуэт кормовой надстройки крупнотоннажного судна имеет яркие отличительные особенности по сравнению с надстройками судов средних размеров. Крупнотоннажные суда оборудованы длинными капитанскими мостиками, возвышающимися на высоту более шести ярусов надстройки, поддерживаемые внушительными конструкциями (рисунок 1).

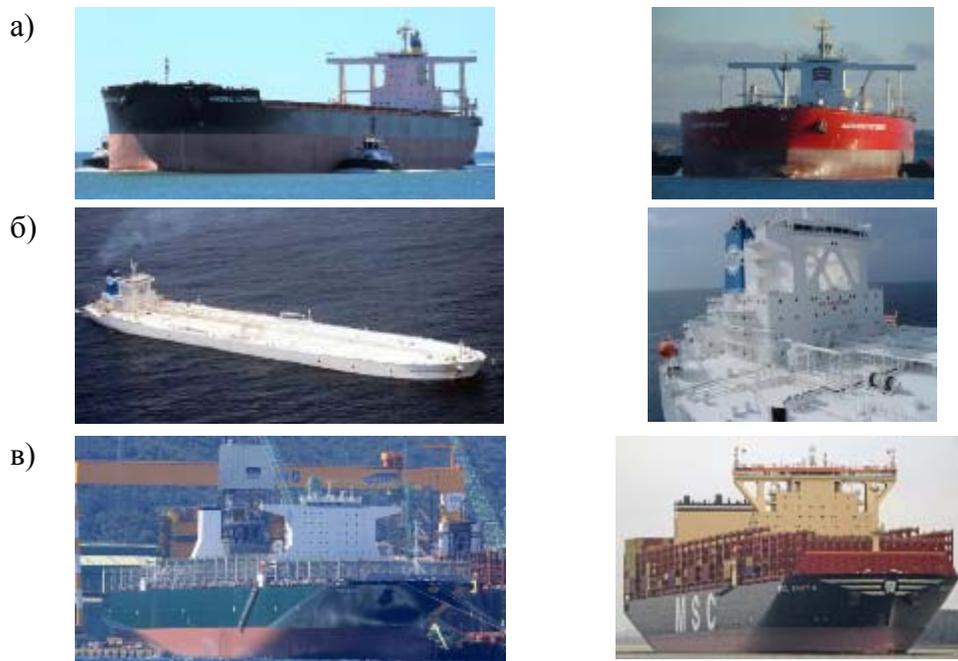


Рисунок 1 – Крупнотоннажные суда:

а – балкеры [3]; б – танкеры [2]; в – контейнеровозы [3]

Сама надстройка, размещенная на верхней палубе, уже мало соответствует классическому определению: «Надстройка – закрытое палубой сооружение на палубе надводного борта, простирающееся от борта до борта или отстоящее от любого из бор-

тов судна на расстояние не более 4 % ширины судна.» [1]. При ширине судна более 60 м расстояние 4 %  $B$  составляет более 2,4 м, на рисунке 1 (б) явно видно, что от надстройки до борта расстояние внушительное и существенно большее 4 %  $B$ , даже с учетом сужения верхней палубы в кормовой части судна. По факту, понятие «надстройка» по такому размеру как ширина ближе к другому определению – «рубка». Уточним, «рубка – закрытое палубой сооружение на палубе надводного борта или на палубе надстройки, не доходящее до бортов судна на расстояние более 4 % ширины судна и имеющее двери, окна и другие подобные отверстия в наружных переборках.» [1]. Но необходимое наличие окон, дверей в наружных переборках, по данному определению, не соответствует конструкции надстройки. Определение понятия «надстройка» требует уточнения с учетом тенденций развития современных судов. Количество ярусов, площадь надстройки зависят не только от длины судна – необходимо уменьшить «мертвую зону» перед судном (особенно для контейнеровозов), но также и от оптимального размещения в ней необходимой номенклатуры помещений, систем и устройств. «Судовые помещения – помещения внутри основного корпуса, надстроек и рубок, предназначенные для размещения экипажа, пассажиров, механизмов и оборудования судна, судовых запасов и грузов» [1]. Именно в надстройке по требованиям из нормативной документации должны быть размещены все жилые помещения транспортного судна. И параметр ширины надстройки, исходя из определения, уже не становится ограничением при расчете размеров надстройки для крупнотоннажных судов. Рассмотрим два фактора, влияющие на размеры и номенклатуру помещений: автономность судна и численность экипажа.

Эксплуатация крупнотоннажных судов обычно организуется на регулярных сухоходных линиях. Рейс может длиться несколько недель (например, переход танкера класса «Афрамекс» дедевитом более 100 тыс. т из Мурманска в порт КНР по Северному морскому пути длился более двух недель). Длительное нахождение в морских условиях влияет на состояние здоровья членов команды судна. Основные факторы, влияющие на здоровье моряка, можно разделить на две группы: постоянно действующие (условия размещения, микроклимат района плавания, микроклимат судовых помещений, шум, вибрация и др.) и действующие периодически (электромагнитные излучения, морская качка, вредные вещества в воздухе и др.). С целью сохранения здоровья экипажа и снижения вредного воздействия указанных факторов, вводятся жесткие требования по обеспечению параметров обитаемости, как при проектировании новых судов, так и к поддержанию их нормируемых значений на судах в эксплуатации. Обитаемость судна – степень приспособленности судна для условий жизни, быта и деятельности людей. Ограничения касаются не только параметров качки судна и уровня вибрации конструкций, но и освещенности, влажности, температурного режима в помещениях судна. Основным показателем неблагоприятных условий судовой среды – степень отклонения параметра от ее гигиенического норматива. Например, для судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания (СанПиН 2.5.2-703-98) жилых помещений: температура воздуха 20-21°C, скорость движения воздуха 0,15-0,25 м/с, относительная влажность 40-60 %. На современных судах используют системы кондиционирования воздуха для поддержания параметров микроклимата. На морских судах уровень освещенности в каюте и спорт-каюте должен быть 200 лк. По нормативной документации все жилые помещения должны иметь источник естественного освещения. Коэффициент естественного освещения для кают составляет 0,5, а для салонов – 1.

Современное судно – это сложное техническое сооружение, работоспособность систем и оборудования которого зависит от квалификации членов экипажа. В настоящее время на судах широко вводится автоматизация систем контроля и управления судном, а также совмещение функций членов команды, что приводит к снижению численности экипажа, обеспечивающего техническое обслуживание судовых систем. По

данным [4] численность экипажа снизилась с 40-50 человек в 60-х годах XX века до 15-20 человек в 90-х годах. Например, на балкерах класса «Valemax» длиной более 360 м работает экипаж из 22 человек. Определить численность экипажа для таких суперсудов в первом приближении довольно сложно. Приближенную формулу расчета численности экипажа можно получить по результатам обработки статистической информации по судам такого класса за последние 10 лет. Ранее на судах члены команды размещались в каютах (до 4 человек) или в кубриках (более 4 человек). По международным требованиям каждый член экипажа должен иметь отдельную каюту. Современные помещения для проживания экипажа – каюта или блок-каюта для капитана и старшего механика. Помещение экипажа сейчас похоже на гостиничный номер повышенной комфортности и может иметь прихожую, салон, кабинет, спальню, санузел. Общественные помещения [1] проектируются с учетом численности экипажа и их многофункционального использования: салон команды, салон для игр, курительный салон, музыкальный салон, плавательный бассейн, спорт-каюта, бар, вахтенная столовая (для судовых специалистов, заступающих на вахту). Обязательно на судне предусматриваются помещения пищеблока, бытового обслуживания, санитарно-гигиенические, помещения медицинского назначения. Нормируются минимальные площади помещений на одного члена экипажа. Существуют рекомендации по организации общих проходов и размещения кают согласно роли моряка на судне. Так каюты капитана должны размещаться по правому борту и ближе к ходовой рубке. Общее количество помещений для экипажа и их площади, оснащение, размещение, конфигурация, оформление и т.д. становятся объектами совместных разработок проектанта и дизайнера.

#### **Заключение**

Существующие традиции в организации пространств жилых помещений на судах изменяются с учетом архитектурного типа судна и ростом размеров судов. Необходимо исследовать подходы, используемые при проектировании жилых помещений, обобщить современные нормативные требования по обитаемости и комфорту, предложить укрупненные алгоритмы к проектированию судовых жилых помещений с учетом требований к судну как техническому объекту. Указанные результаты могут быть использованы в проектировании и в учебных работах студентов при подготовке выпускных квалификационных работ.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Подсевалов, Б. В. Словарь стандартизованной терминологии в судостроении / Б. В. Подсевалов, А. П. Фомин. – Л.: Судостроение, 1990, – 240 с.
2. Танкер Геллеспонт Альгамбра : сайт о супертанкерах : сайт. – 2004 – . – URL : <https://www.aukevisser.nl/supertankers/id28.htm> (дата обращения 01.12.2024).
3. Shipspotting.com. : сайт. – 2004 – . – URL : <https://www.shipspotting.com/photos/> (дата обращения 01.12.2024).
4. Гайкович, А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов / А. И. Гайкович. В 2 т. Т. 1. Описание системы «Корабль». – СПб.: Изд-во НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. – 819 с.
5. Ломов О. П. Гигиенические основы обитаемости кораблей и судов / О. П. Ломов. – Л.: Судостроение, 1989. – 160 с.

## СЕКЦИЯ. ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 621.314

Башков Данил Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Bashkov Danil Alexeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Сериков Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Serikov Alexander Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

### ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF A POWER OIL TRANSFORMER

Аннотация. Рассмотрены существующие способы повышения энергоэффективности силовых трансформаторов. Представлены современные подходы к повышению энергоэффективности за счет полезного использования потерь масляного трансформатора на нужды теплообеспечения рядом расположенных объектов различного назначения. Предложена схема силового масляного трансформатора с внутренним расположением нагревательного модуля.

Abstract. The existing methods of increasing the energy efficiency of power transformers are considered. Modern approaches to improving energy efficiency due to the beneficial use of oil transformer losses for the needs of heat supply of nearby facilities for various purposes are presented. The scheme of a power oil transformer with an internal arrangement of the heating module is proposed.

Ключевые слова: трансформатор, силовой трансформатор, масляный трансформатор, трансформация напряжения, повышение энергоэффективности

Key words: transformer, power transformer, oil transformer, voltage transformation, energy efficiency improvement

#### **Введение**

Силовые трансформаторы являются неотъемлемой частью электрических сетей и обеспечивают преобразование напряжения для передачи электрической энергии на большие расстояния. Однако процесс преобразования сопровождается неизбежными потерями, которые прямо влияют на общую эффективность энергосистем [1]. С учетом многоступенчатого преобразования напряжения по пути от генератора до потребителя установленная мощность парка силовых трансформаторов значительно превышает генерируемую мощность в энергосистеме. Таким образом, повышение энергоэффективности силовых трансформаторов является актуальным вопросом, который обсуждается на протяжении многих десятилетий.

Все существующие способы повышения энергоэффективности силового трансформаторного оборудования условно можно разделить на две группы. В первую группу входят способы, основанные на снижении потерь холостого хода и короткого замыкания. В основном эффект снижения потерь основывается на применении современных материалов с низкими удельными потерями, а также за счет улучшения конструкции элементов магнитопровода и обмоток [2]. Вторую группу составляют способы, основанные на утилизации потерь с целью их полезного использования [3].

#### **Основная часть**

Потери мощности, возникающие в процессе работы трансформаторов, можно эффективно использовать для нагрева жидкого или газообразного теплоносителя для

дальнейшего его использования в системах теплоснабжения. Такая технология позволяет преобразовать тепловую энергию, выделяемую трансформатором, в полезный ресурс, что значительно повышает общую энергоэффективность оборудования. Для этого применяется система теплообменников, которая отводит тепло от трансформаторного масла и передает его теплоносителю. Полученное тепло может быть использовано для отопления помещений или горячего водоснабжения, снижая затраты на традиционные источники энергии и минимизируя тепловые потери. Такой подход способствует как экономической выгоде, так и экологической устойчивости.

Наиболее простая система, в которой не требуется модернизации штатного силового трансформатора 1, основывается на нагреве воздуха от радиаторов охлаждения 2 (рисунок 1). С помощью вентиляторов 3 осуществляется циркуляция воздуха по воздуховоду 4. Очевидно, что такая схема теплоснабжения возможна только при расположении силового трансформатора близко с отапливаемым помещением или внутри него.

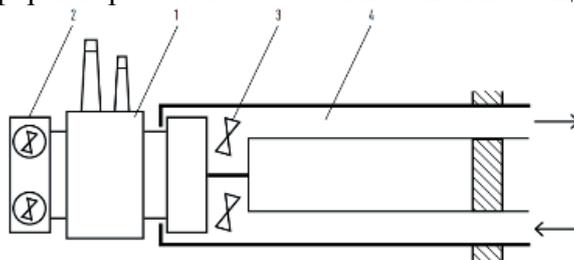


Рисунок 1 – Схема утилизации потерь без модернизации силового трансформатора

Более эффективными, но более технически сложными схемами, требующими модернизации штатной системы охлаждения трансформаторного оборудования, являются схемы на основе теплообменников «масло – воздух», «масло – вода», «масло – вода – воздух». На рисунке 2 показана схема утилизации потерь силового трансформатора 1 на основе двух теплообменников. Масляный насос 2 обеспечивает циркуляцию масла (М) в контуре силовой трансформатор – теплообменник «масло – вода» 3, а водяной насос 4 обеспечивает циркуляцию воды (В) в контуре теплообменник «масло – вода» – «вода – воздух» 5.

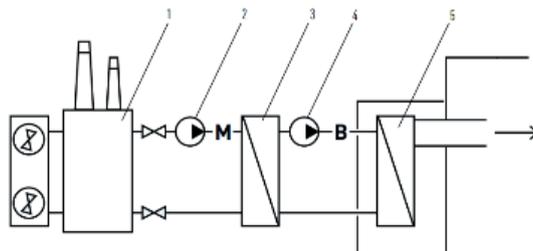


Рисунок 2 – Схема утилизации потерь с использованием внешнего дополнительного теплообменного оборудования

Получение горячей воды для отопления помещений, обеспечения нужного температурного режима электрооборудования или для технологических (хозяйственных) нужд можно с использованием системы утилизации потерь силового трансформатора 1 с водомасляным теплообменником 2 (рисунок 3). Нагретая в теплообменнике вода по теплоизолированным трубопроводам направляется к потребителю. Для стабилизации температуры нагреваемой воды в рассматриваемой схеме используется бойлер 3 с электронагревательным элементом. В системе предусмотрены теплообменные аппараты 4 (например, радиаторы отопления), которые обеспечивают нагрев воздуха в помещении и относятся к системе отопления здания. Для повышения общего коэффициента полезного действия дополнительно может использоваться аккумулятор горячей воды 5.

Очевидно, что подобные схемы (см. рисунки 2 и 3) наряду с модернизацией системы охлаждения силового трансформатора требуют дополнительных капитальных затрат для размещения и обслуживания внешнего теплообменного оборудования.

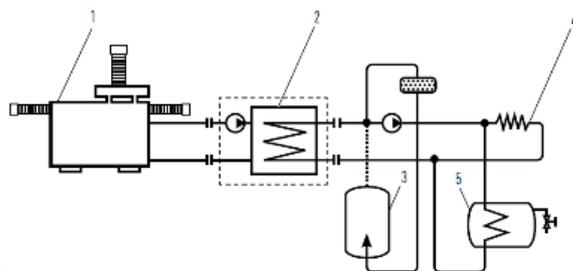


Рисунок 3 – Схема использования тепловых потерь трансформатора с применением водомасляного теплообменника

С целью минимизации затрат на монтаж и эксплуатацию внешнего теплообменного оборудования, которое не всегда можно разместить рядом с установленным на подстанции силовым трансформатором, предлагается в конструкцию трансформатора включить нагревательный модуль (НМ), который будет являться одновременно теплообменным аппаратом и нагревательным контуром (НК). Нагревательный контур функционально является третьей обмоткой трансформатора (рисунок 4). Нагревательный модуль может выполняться из труб, которые концентрически расположены относительно обмоток высокого (ВН) и низкого (НН) напряжения в активной части трансформатора. По этим трубам циркулирует теплоноситель, тем самым осуществляя отбор теплоты от нагретого трансформаторного масла. При необходимости, для обеспечения требуемой температуры теплоносителя на выходе из нагревательного модуля включение НК осуществляется тиристорным коммутатором (ТК).

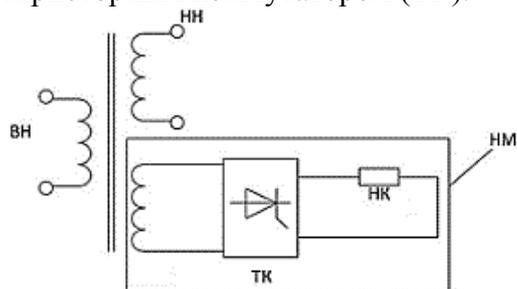


Рисунок 4 – Трансформатор с нагревательным модулем

### Заключение

Повышение энергоэффективности силовых трансформаторов является важной задачей, направленной на снижение потерь энергии и продление срока службы оборудования. Одним из эффективных решений является использование тепловых потерь трансформаторов для нагрева воды, что позволяет использовать выделяемую энергию и снижать эксплуатационные затраты. Объединение нагревательного контура и теплообменника в компактный нагревательный модуль упрощает конструкцию и повышает эффективность системы. Реализация таких подходов способствует экономической и экологической устойчивости современных энергосистем.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Быстрицкий, Г. Ф. Электроснабжение. Силовые трансформаторы / Г. Ф. Быстрицкий, Б. И. Кудрин. – М.: Издательство Юрайт, 2024. – 201 с.
2. Михеев, Г. М. Способы повышения энергоэффективности силовых трансформаторов / Г. М. Михеев, Л. Г. Ефремов, Д. Е. Иванов // Вестник Чувашского университета. – 2013. – № 3. – С. 212-218. – EDN RUBSQR.
3. Гридин, С. В. Энергоэффективность способов утилизации отработанного тепла систем охлаждения силовых трансформаторов / С. В. Гридин, А. Ф. Петренко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – № 7(113). – С. 11-18. – EDN SELGZP.

УДК 621.37

Белых Денис Викторович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Belykh Denis Viktorovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Alexey Valerievich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of industrial electronics and innovative technologies, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА АНАЛИЗАТОРА РАДИОСИГНАЛОВ DEVELOPMENT OF A RADIO SIGNAL ANALYZER**

**Аннотация.** В данной работе представлена концепция и этапы разработки анализатора радиосигналов. Уделено внимание основным функциональным возможностям устройства: спектральному анализу, демодуляции, фильтрации, а также визуализации и интерпретации полученных данных. Представленный анализатор радиосигналов обладает широкими возможностями применения в исследованиях, мониторинге радиочастотного спектра, диагностике и обеспечении безопасности телекоммуникационных систем. Данная разработка вносит вклад в совершенствование технологий анализа радиосигналов и открывает новые горизонты для исследований в области радиосвязи и обработки сигналов.

**Abstract.** This paper presents the concept and stages of development of a radio signal analyzer. Attention is paid to the main functional capabilities of the device: spectral analysis, demodulation, filtering, as well as visualization and interpretation of the received data. The presented radio signal analyzer has wide application possibilities in research, monitoring of the radio frequency spectrum, diagnostics and security of telecommunication systems. This development contributes to the improvement of radio signal analysis technologies and opens up new horizons for research in the field of radio communications and signal processing.

**Ключевые слова:** анализатор, радиосигнал, спектр, электрическая схема, функциональные возможности.

**Keywords:** analyzer, radio signal, spectrum, electrical circuit, functionality.

### **Введение**

Радиосигналы плотно вошли в жизнь современного общества, с помощью них передаются данные видео и аудио формата, информационные сигналы.

Анализ радиосигналов является одной из ключевых задач в области телекоммуникаций и радиоинженерии, играя важную роль в обеспечении связи, антиинтерференции и научных исследований. Разработка современного анализатора радиосигналов позволяет не только улучшить качество передачи данных, но и проводить комплексный анализ радиочастотного спектра для различных приложений.

Анализаторы спектра являются высокочувствительными измерительными приборами, использующимися для проведения анализа и измерения характеристик различного типа сигналов, также являются основным инструментом, использующимся при радиоконтроле. Наблюдение и измерение колебаний энергии в частотной полосе проводят для того, чтобы радиоприборы работали исключительно в своей полосе, не создавая друг для друга помех. Собранные данные в дальнейшем могут использоваться для настройки техники.

Цели анализа радиосигналов могут варьироваться в зависимости от конкретного применения. Основные задачи включают: определение качественных характеристик

радиосигналов (уровень шума, линейность, искажений и т.д.), демодуляция и восстановление информации, содержащейся в сигналах, идентификация и мониторинг радиочастотного спектра для предотвращения помех оценка интерфейса и параметров антенн.

### **Существующие системы анализатора радиосигнала**

Tektronix RSA5000 Series – это профессиональный спектроанализатор, который анализирует широкий диапазон частот и обеспечивает высокую скорость обработки сигналов. Подходит для анализа цифровых и аналоговых сигналов и обеспечивает высокую чувствительность.

Анализатор спектра реального времени серии RSA500 разработан для инженеров, занимающихся мониторингом спектра и поиском помех, а также для обслуживающего персонала сетей беспроводной связи, выполняющего поиск источников помех, профилактическое обслуживание сети и составление отчетов по результатам измерений. Основой измерительной системы является USB-анализатор спектра РЧ сигналов с полосой захвата 40 МГц, обеспечивающий высокую точность измерений в жестких условиях. Высокая достоверность анализа сигналов достигается за счет таких параметров, как верхняя граница полосы пропускания 7,5 ГГц и динамический диапазон 70 дБ. Компактный USB-анализатор спектра работает с легким планшетом или ноутбуком под управлением ОС Windows, который берет на себя все функции обработки результатов измерений.

Несмотря на широкий функционал устройства Tektronix RSA5000 Series, оно остается зарубежным, что в реальности настоящего времени является большим минусом, так как иностранные организации под давлением мировых санкций все чаще и чаще совершают попытки выхода с рынка России. Одновременно с этим, при любой поломке данного устройства можно столкнуться с такой проблемой, как отсутствие запасных частей и прекращение поддержки разработчиков программного обеспечения. Так же у данного устройства и подобных ему зачастую высокая цена на закупку, что отрицательно влияет на выбор в их пользу

### **Этапы разработки анализатора**

Разработка анализатора радиосигналов включает несколько основных этапов:

Анализ требований: Определение целевой аудитории, необходимых характеристик и функциональности анализатора.

Проектирование: Создание схемы устройства и выбор компонентов, включая выбор аналоговых и цифровых технологий.

Разработка программного обеспечения: Создание ПО для обработки и анализа сигналов, а также графического интерфейса пользователя.

Тестирование: Проведение тестов для проверки работоспособности анализатора в различных условиях и оценка его эффективности.

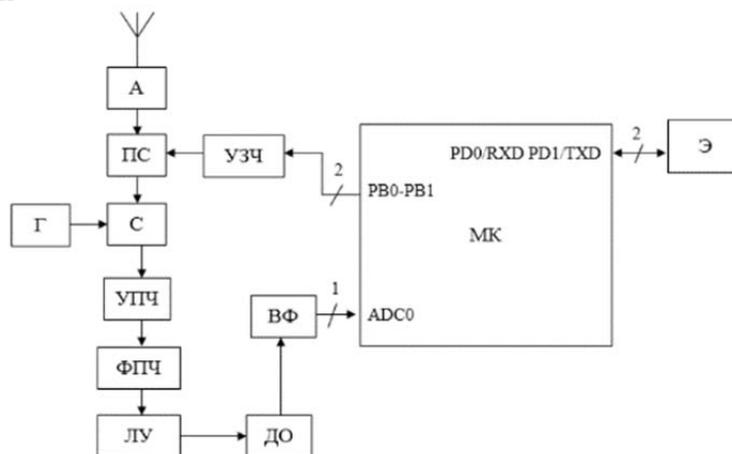
### **Функциональная схема предлагаемого решения**

Алгоритм работы цифровых анализаторов спектра включает в себя два основных шага: сначала анализатор собирает выборку во временной области, а затем при помощи алгоритма быстрого преобразования Фурье переводит ее в частотную область.

Разрабатываемый анализатор (рисунок 1) содержит следующие функциональные блоки. Приемник преобразует радиосигналы в электрические. Используются как аналоговые, так и цифровые технологии. Цифровой процессор сигнала позволяет обрабатывать и анализировать сигналы, выполняя функции фильтрации, демодуляции и спектрального анализа.

Интерфейсы связи: обеспечивают возможность взаимодействия анализатора с другими устройствами, такими как компьютеры или программное обеспечение для анализа данных.

Микроконтроллер с помощью устройства задания частоты задает частоту для анализа анализатору спектра, который после этого передает данные о радиосигнале заданной частоты в микроконтроллер. С помощью кнопок управления задается диапазон частот для спектра и разрешающую способность. После анализа радиосигнала данные выводятся на экран



МК – микроконтроллер; Э – экран; УЗЧ – устройство задания частоты; А – аттенюатор; ПС – преселектор; С – смеситель; УПЧ – усилитель ПЧ; ФПЧ – фильтр ПЧ; ЛУ – логарифмический усилитель; ДО – детектор огибающий; ВФ – видео фильтр  
Рисунок 1 - Функциональная схема разрабатываемого устройства.

Сперва микроконтроллер с помощью устройства задачи частоты определяет частоту для анализа. Настройка на определенную частоту происходит в преселекторе. Аттенюатор используется для оптимизации уровня сигнала (снижения его амплитуды и мощности) без каких-либо потерь и искажений. Также он обеспечивает защиту устройства от перегрузки. После чего в смесителе сигналы с гетеродина и аттенюатора смешиваются. После чего смешанный сигнал попадает в усилитель и фильтр промежуточной частоты (ПЧ), затем логарифмический усилитель сжимает по логарифмической шкале сигнал с фильтра ПЧ и передает на детектор огибающей. С помощью детектора огибающей происходит получение сигнала по напряжению, который в последствии попадает на видео фильтр, фильтруется и входит в аналого-цифровой преобразователь микроконтроллера.

### Заключение

Разработка анализатора радиосигналов представляет собой многогранную задачу, требующую как технических знаний, так и креативного подхода. Использование современных технологий и методов обеспечивает высокую эффективность и точность анализа. Будущее разработки таких систем связано с углублением в области машинного обучения и адаптивных алгоритмов, что открывает новые горизонты для исследований и применений в сфере радиосигналов.

Таким образом, проектирование анализатора радиосигналов является многогранной задачей, требующей креативности, технических знаний и долгосрочного видения.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кушнер, Д. А. Основы промышленной электроники: учебное пособие / Д. А. Кушнер. – Минск: РИПО, 2020. - 268 с. - ISBN 978-985-503-975-5. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1214793> (дата обращения: 22.11.2024). – Режим доступа: по подписке.
2. Власов, А. Б. Электроника. Аналоговые элементы и узлы электронной аппаратуры: учебное пособие / А. Б. Власов. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. - 264 с. - ISBN 978-5-9729-1560-6. - Текст: электронный. - URL:

<https://znanium.com/catalog/product/2102066> (дата обращения: 22.11.2024). – Режим доступа: по подписке.

3. Марченко, А. Л. Электротехника и электроника: учебник: в 2 томах. Том 1. Электротехника / А. Л. Марченко, Ю. Ф. Опадчий. – Москва: ИНФРА-М, 2023. – 574 с. – (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-009061-0. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2020596> (дата обращения: 22.11.2024). – Режим доступа: по подписке.

4. Электроника и схемотехника: учебник / В. П. Довгун, А. Ф. Синяговский, И. Г. Вазенина, В. В. Новиков; отв. ред. В. П. Довгун. - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2022. - 580 с. - ISBN 978-5-7638-4573-0. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2093497> (дата обращения: 22.11.2024). – Режим доступа: по подписке.

УДК 620.92:621.313.12

Бондарев Сергей Анатольевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Bondarev Sergei Anatolevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Черкашин Роман Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Cherkashin Roman Pavlovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Янченко Андрей Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Yanchenko Andrey Vyacheslavovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА СХЕМЫ РЕАКТОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПЕЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА DEVELOPMENT OF A CIRCUIT FOR REACTOR VOLTAGE REGULATION OF A FURNACE TRANSFORMER**

Аннотация. В данной работе обосновывается использование реакторного регулирования напряжения, рассматривается пятиступенчатая схема регулирования для мощного печного трансформатора, описывается принцип ее работы и параметры элементов. Определяются достоинства и недостатки предлагаемой схемы при ее сравнении с тиристорным регулятором.

Abstract. In this paper, the use of reactor voltage regulation is justified, a five-stage control scheme for a powerful furnace transformer is considered, the principle of its operation and the parameters of the elements are described. The advantages and disadvantages of the proposed scheme are determined when compared with a thyristor regulator.

Ключевые слова: токоограничивающий реактор, печной трансформатор, контактор, реактивное сопротивление.

Key words: current limiting reactor, furnace transformer, contactor, reactance.

### **Введение**

Токоограничивающий реактор – это электротехническое устройство, которое представляет собой реактивную катушку из медного провода, обладающую малым активным и большим индуктивным сопротивлением, которое ограничивает скорость нарастания токов короткого замыкания. Основными преимуществами реакторного регулирования являются надежность и устойчивость к перегрузкам. Реакторы (рисунок 2,А) помогают поддерживать уровень напряжения в допустимых пределах даже в случае коротких замыканий [1,2,3]. Цель этой работы: описать предлагаемую схему регу-

лирования с использованием реакторов и представить результаты расчетов параметров элементов схемы.

### Основная часть

Рассмотрим схему реакторного регулирования напряжения и тока нагревательного трансформатора на рисунке 1. Схема состоит из пяти контакторов с комплектом нормально закрытых контактов, блок-контактов и кнопок. Принцип работы схемы:

При замыкании рубильника (В1) нагревательный трансформатор включается в работу на полное напряжение 380 В ( $U_2 = 40$  В). Для ступенчатого регулирования напряжения сети вниз от номинального необходимо последовательно включать катушки контакторов КМ1-КМ5. При нажатии на кнопку К1 запитывается катушка КМ1, замыкается блокирующий кнопку контакт КМ1 и размыкается нормально закрытый силовой контакт КМ1 в параллельной цепи с реактором Р1. При этом  $U_{ном}$  уменьшается на 10% [21]. Максимальный ток через – 3290 А. При нажатии других кнопок будут разблокированы соответствующие катушки реакторов. Каждая кнопка соответствует регулированию напряжения на 10%. Запитывание контакторных катушек подтверждается включением индикаторных ламп ИЛ1– ИЛ5. Общее падение напряжения можно контролировать количеством включенных ламп. Таким образом, максимально возможное снижение напряжения может достигать 50% от  $U_{ном}$ , то есть 190 В.

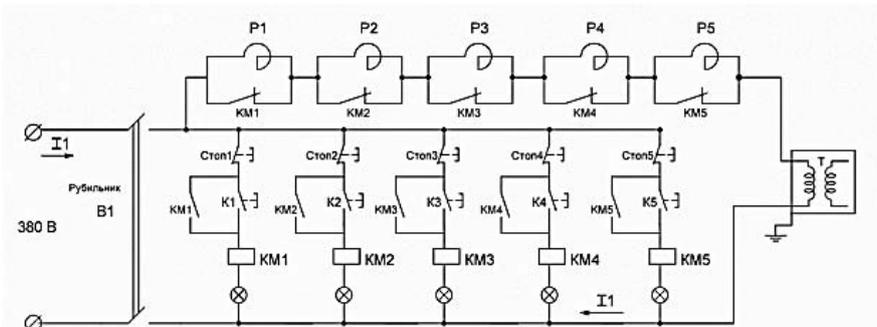


Рисунок 1 – Схема пятиступенчатого регулирования первичного напряжения нагревательного трансформатора с помощью реакторов Р1 – Р5

Для регулирования нагрева печного трансформатора марки ОЭСК-250/40 с максимальным током в первичной цепи до 3300 А и напряжением  $U_n = 380$  В был рассчитан и спроектирован реактор для пятиступенчатой схемы с глубиной регулирования  $U_n$  до 50%. Эскиз реактора представлен на рисунке 2,Б.

А)



Б)

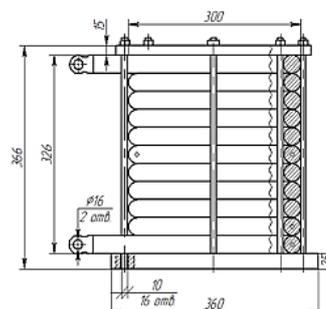


Рисунок 2 – А) линейный токоограничивающий реактор; Б) спроектированный реактор для схемы регулирования

Принимаем активное сечение медного кабеля реактора равным  $400 \text{ мм}^2$ , так как он является наиболее оптимальным исходя из веса, стоимости и ограничения тока (максимальный ток реактора - 3290 А). Тогда активное сечение витка катушки,  $\text{мм}^2$ :

$$S_{\text{вит}} = 400.$$

Выбираем диаметр витка реактора равным 300 мм. Коэффициент учета толщины изоляции:  $K_{из} = 1,312$ . Диаметр кабеля, мм:

$$d_{каб} = \sqrt{\frac{4 \cdot 400}{\pi}} \cdot 1,312 = 29,6.$$

Выбираем кабель марки ВВГнг (А) 1х400, структура кабеля показана на рисунке 3.

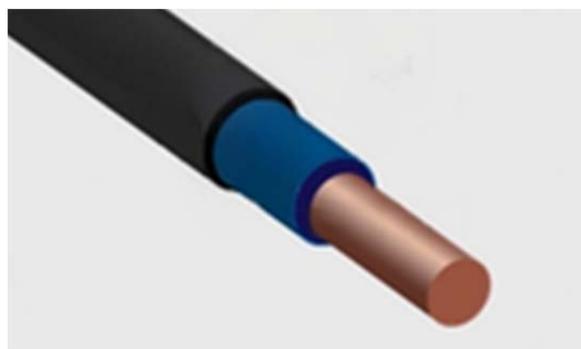


Рисунок 3 – Кабель ВВГнг(А) 1х400

В таблице 1 приведены результаты расчёта реактора с выбранным кабелем и различным числом витков.

Таблица 1 – Результаты расчетов реактора с диаметром витка 300 мм,  $U_n = 380$  В

Число витков, $N$ , штук	Высота катушки $h$ , мм	Индуктивность $L$ , мГн	Полное сопротивление $Z$ Ом	Падение напряжения, В		Масса кабеля $m$ , кг
				$\Delta U_{ном}$	$\Delta U_{макс}$	
10	330	0,021	$6,597 \cdot 10^{-3}$	4,34	21,7	30,2
20	660	0,048	$15,08 \cdot 10^{-3}$	9,92	49,6	60,4
40	1320	0,192	$60,31 \cdot 10^{-3}$	39,7	198,4	120,8

Для понижения напряжения на входе в трансформатор в 2 раза, то есть с 380 В до 190 В (тогда изменение вторичного напряжения трансформатора - с 40 В до 20 В) потребуется включить последовательно пять реакторов по 40 витков.

#### Закключение

В данной работе рассмотрена схема реакторного регулирования напряжения и тока печного трансформатора мощностью 250 кВА с глубиной регулирования до 50%. Стоимость тиристорного и реакторного регуляторов примерно равны в диапазоне мощности 100 - 200 кВА. Несмотря на основной недостаток реакторного регулятора (РР) – ступенчатость регулирования - следует отметить его преимущества. Во-первых, это расчет РР на любые мощности и токи. Для тиристорных регуляторов есть ограничения по величине тока (до 2 кА). Во-вторых, это высокая эксплуатационная надежность РР. Для мощных нагревательных систем мощностью свыше 200 кВА это может быть решающим преимуществом выбора типа регулятора [4,5].

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Артюхов, И. И. Электрооборудование электрических станций и подстанций : учеб. пособие для студентов направления 551700, специальностей 100400, 100500, 100700 / И. И. Артюхов, В. Д. Куликов, В. В. Тютманова ; И. И. Артюхов, В. Д. Куликов, В. В. Тютманова; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Саратов. гос. техн. ун-т. – Саратов : Саратов. гос. техн. ун-т, 2005. – ISBN 5-7433-1571-X. – EDN QMIVHZ.

2. Аполлонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов /Аполлонский, С.М., Куклев Ю.В./ : учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. - 448 с.
3. Чунихин, А.А. Электрические аппараты: общий курс. Учебник для вузов – 3-е изд. перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат. 1988. – 721 с.
4. Новиков Ю. Н. Теория и расчет электрических аппаратов. Ленинград, 1970. – 328 с.
5. Тураков И.А., Янченко А.В. Экспериментальная установка для оценки нагрева заго-товок перед штамповкой. / В сборнике: наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С.245-247.

УДК 62-5

Бурматова Елизавета Константиновна, студент, Национальный Исследовательский Технологический Университет «МИСИС»

Burmatova Elizaveta Konstantinovna, student, National University of Science and Technology "MISIS"

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ УПРАВЛЕНИИ INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF INDUCTION MOTORS WITH FREQUENCY CONTROL**

Аннотация. В статье рассматривается частотный способ регулирования скорости вращения асинхронного двигателя, критерии оценки эффективности частотно-регулируемых асинхронных электроприводов, а также теория экстремального управления и связанный с ней метод выявления оптимального режима работы двигателя при различных видах нагрузки, приведены методы повышения эффективности в системах с преобразователями частоты.

Abstract. The article discusses the frequency method of regulating the rotational speed of an asynchronous motor, criteria for evaluating the effectiveness of frequency-controlled asynchronous electric drives, as well as the theory of extreme control and the associated method for identifying the optimal operating mode of the engine under various types of loads. Methods of increasing efficiency in systems with frequency converters are presented.

Ключевые слова: электропривод, частотный преобразователь, эффективность, асинхронный двигатель, управление приводом.

Key words: electric drive, frequency converter, efficiency, induction motor, drive control.

### **Введение**

Различного рода электроприводы являются основным потребителем электроэнергии, при этом стоит отметить, что за период с 2012 по 2023 годы в Российской Федерации доля потребления электроэнергии электродвигателями в общем объеме потребления промышленных предприятий варьируется в пределах от 53,1% до 55,1% [1]. Наибольшая доля потребления электроэнергии двигателями приходится на двигатели среднего размера с выходной мощностью от 0,75 кВт до 375 кВт. Существует множество различных технологий и типов двигателей, но асинхронные двигатели переменного тока используются чаще всего. Эти двигатели либо продаются производителям оригинального оборудования и встраиваются в готовые электромеханические изделия (например, насосы, вентиляторы, компрессоры и т. д.), либо продаются как отдельные двигатели, которые конечные потребители затем встраивают в конкретное оборудование на месте. При этом регулируемый электропривод необходим в половине случаев.

Это обуславливает необходимость исследования эффективности работы асинхронных электродвигателей и развития методов управления ими.

Цель данной работы заключается в общей оценке эффективности частотно-регулируемого электропривода и анализе способов ее повышения.

### Основная часть

Применение преобразователя частоты в приводе с асинхронным двигателем позволяет значительно повысить эффективность работы данного привода. Это достигается за счет возможности изменения скорости вращения двигателя в широких диапазонах без значительного снижения КПД. Кроме того, применение преобразователя частоты позволяет уменьшить пусковые токи и улучшить точность регулирования скорости и крутящего момента.

Исследования показывают, что использование преобразователя частоты способствует экономии энергии за счет оптимизации работы двигателя и привода в целом. Это особенно актуально в случае переменной нагрузки, когда требуется изменение скорости вращения двигателя в зависимости от процесса.

Частотный способ регулирования скорости асинхронного двигателя основан на пропорциональной зависимости скорости вращения от частоты питающей сети:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p} \quad (1)$$

Следует отметить, что при изменении скорости вращения скольжение не изменяется, а также потери в роторе малы.

Чтобы наиболее эффективно реализовать частотное управление, необходимо учесть вид нагрузки двигателя, так как от этого будет меняться вид зависимости между напряжением и частотой:

- 1) При постоянном моменте сопротивления:

$$\frac{U_{\phi i}}{f_1} = const \quad (2)$$

- 2) При вентиляторном роде нагрузки:

$$\frac{U_{\phi i}}{f_1^2} = const \quad (3)$$

- 3) При моменте, обратно пропорционально зависящем от скорости:

$$\frac{U_{\phi i}}{\sqrt{f_1}} = const \quad (4)$$

Регулирование напряжения питания электродвигателя наряду с частотой по представленным законам позволяет сохранить перегрузочную способность двигателя [4].

Прежде всего необходимо сформулировать критерии оценки энергоэффективности частотно-регулируемого электропривода. К показателям эффективной работы отнесем:

- активную, реактивную, полную мощности, потребляемые от преобразователя;
- величину потерь в различных элементах привода;
- коэффициент мощности;
- коэффициент полезного действия;
- параметры электромеханической характеристики;
- показатели, характеризующие загрузку элементов электрических и магнитных цепей двигателя, а также использование по току и напряжению силовых источников питания.

Очевидно, что добиться одновременного достижения всеми параметрами их оптимальных значений – неосуществимая задача. Ввиду этого используется векторный показатель энергоэффективности, определяемый как:

$$Y = Y(V, x) = y_1(V, X), y_2(V, X), \dots, y_n(V, X), \quad (5)$$

где  $y_i(V, X)$  – один из показателей эффективности;  $V$  – вектор варьируемых управлений оптимизационной модели двигателя;  $X$  – вектор состояния двигателя [2].

На этом принципе базируется теория экстремального управления. Под этим термином понимается такое управление, при котором достигается минимум или максимум выбранного показателя, характеризующего работу электропривода. [3].

Основные результаты теории экстремального управления асинхронными частотно-регулируемыми приводами включают законы управления, направленные на минимизацию потерь, минимизацию тока статора и максимизацию момента при ограничениях на ток и напряжение полупроводникового преобразователя частоты. Эти законы позволяют эффективно управлять приводом, оптимизируя его работу и снижая энергопотребление.

Задача заключается в том, чтобы подобрать режим работы, при котором  $Y(V, X)$  достигает максимально возможного значения и параметры лежат в допустимых диапазонах при всех значениях момента и скорости, необходимых в данном технологическом процессе. При оценке энергетической эффективности в зависимости от практических целей могут использоваться как один показатель качества, так и некоторая совокупность показателей. В последнем случае постановка задачи оценивания энергетической эффективности будет отражать ее многокритериальный характер.

Выявление эффективности режимов двигателя по отношению к минимуму суммарных потерь имеет практическое значение в следующих случаях:

- при обеспечении минимума потерь для ограничения нагрева двигателя и расширения области допустимых по нагреву нагрузок;
- для повышения коэффициента полезного действия двигателей при регулировании скорости и изменении момента нагрузки в широких диапазонах;
- при обосновании варианта управления, близкого к оптимальному, когда в качестве эталона используется управление, обеспечивающее режим минимальных потерь.

Разумеется, помимо всех очевидных достоинств применение преобразователей частоты имеет и свои недостатки. Стоит отметить снижение коэффициента полезного действия ввиду применения широтно-импульсной модуляции, которое вносит дополнительные гармонические компоненты. Повышаются электрические потери в меди, что в свою очередь повышает нагрев двигателя. Это приводит к снижению КПД на 3–7% в сравнении с двигателем, запитанным от источника с чистым синусоидальным напряжением [5].

Для снижения влияния помех системы к частотным преобразователям и двигателям устанавливают дополнительно входные и выходные фильтры, спасающие от вредных факторов и саму питающую сеть, и питаемый данным частотным преобразователем двигатель.

К входным фильтрам относятся:

- сетевой дроссель (защищает преобразователь от скачков напряжения и перекоса фаз);
- ЭМИ-фильтр (подавляет помехи в диапазоне от 150 кГц до 30 МГц, защищает окружающее оборудование).

К выходным фильтрам относятся:

- фильтр  $dU/dt$  (понижает пиковое напряжение и импульсы на клеммах двигателя);
- синус-фильтр (сглаживает помехи высоких частот, делая форму напряжения и тока почти синусоидальной);
- синфазный фильтр (подавляет высокочастотные помехи, снижая электромагнитные излучения от моторного кабеля).

Применение этого оборудования позволяет компенсировать изъяны частотных преобразователей и избежать падения эффективности привода.

## Заключение

Таким образом, была проанализирована эффективность применения преобразователей частоты, рассмотрены методы ее оценки, а также приведены рекомендации по повышению.

Преобразователи частоты играют важную роль в современной промышленности и обеспечивают эффективную и точную работу электрооборудования. Владение методами оценки и повышения эффективности частотно-регулируемых приводов дает возможность подобрать оптимальные параметры системы.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Технологическое развитие отраслей экономики // Федеральная служба государственной статистики URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11189> (дата обращения: 30.11.2024).
2. Поляков, В.Н. Энергоэффективные режимы двигателей переменного тока в системах частотного управления : учеб. пособие / В.Н. Поляков, Р.Т. Шрейнер ; под общ. ред. Р.Т. Шрейнера.– Екатеринбург : УрФУ, 2017. – 256 с.
3. Поляков В.Н. Экстремальное управление электрическими двигателями / В.Н. Поляков, Р.Т. Шрейнер ; под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Р.Т. Шрейнера. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2006. – 420 с.
4. Евсиков, А. А. Е 25 Автоматизированный электропривод с частотным управлением : учебное пособие / А.А. Евсиков, В. А. Коковин, А. П. Леонов. – Дубна : Гос. ун-т «Дубна», 2020. – 121 [1] с.
5. Федянин В.В. Влияние преобразователя частоты на коэффициент полезного действия асинхронного двигателя / В.В. Федянин // Международный научно-исследовательский журнал.- 2017. - №8 (62).

УДК 620.92:621.313.12

Бутко Владимир Павлович, аспирант, ассистент кафедры «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Butko Vladimir Pavlovich, postgraduate student, assistant of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

Кузьмин Роман Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kuzmin Roman Vyacheslavovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **К ВОПРОСУ СИНХРОНИЗАЦИИ ДУГОСТАТОРНЫХ ИНДУКТОРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПРИ ИХ ВКЛЮЧЕНИИ НА ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ РАБОТУ ON THE QUESTION OF SYNCHRONIZATION OF ARC-STATOR INDUCTOR GENERATORS WHEN THEY ARE CONNECTED FOR PARALLEL OPERATION**

Аннотация. В данной работе поднимается вопрос включения дугостаторных индукторных генераторов для микроГЭС на параллельную работу как между собой, так и с мощной сетью. Рассмотрены стандартные способы синхронизации, их преимущества и недостатки, а также применимость этих способов для описанного устройства. Предложен способ синхронизации для генератора с использованием автоматического синхронизатора.

Abstract. This paper raises the issue of switching on arc-stator inductor generators for micro hydroelectric power plants for parallel operation both among themselves and with a powerful network. Standard synchronization methods, their advantages and disadvantages, as well as

the applicability of these methods for the described device are considered. A synchronization method for a generator using an automatic synchronizer is proposed.

Ключевые слова: микроГЭС, дугостаторный индукторный генератор, синхронизация.

Key words: microHPP, arc-stator inductor generator, synchronization.

### **Введение**

Системы обеспечения электрической энергией на основе дугостаторного индукторного генератора для микроГЭС [1, 2] представляют собой особую конструкцию, в которой отсутствуют устройства редуцирования скорости вращения, а ротор генератора погружается в воду более чем на  $4/5$  диаметра (рисунок 1).

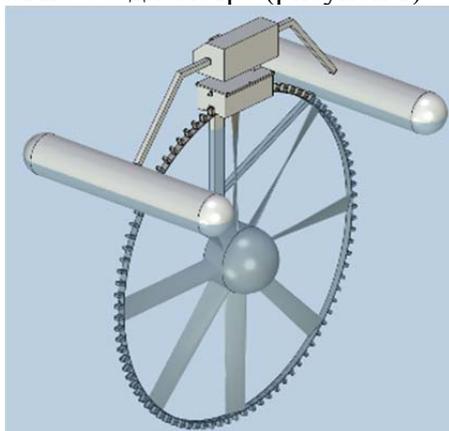


Рисунок 1 – МикроГЭС на основе дугостаторного индукторного генератора с отображением линии погружения

Генераторы подобного типа в силу ограничений, связанных с условиями эксплуатации, проектируются на мощность до 15 кВт. Для получения большей мощности возникает необходимость установки нескольких генераторов или подключения к центральной энергосистеме. В случае полного перехода на питание от центральной энергосистемы генератор начинает работать в холостую, поскольку необходимо производить переключение потребителей. Работа генератора без нагрузки является не целесообразной и разумнее синхронизировать генератор с сетью. При подключении нескольких генераторов на одного потребителя также необходимо произвести их синхронизацию [3].

Цель данной работы: рассмотреть способы включения генераторов на параллельную работу и предложить способ синхронизации, который будет наиболее эффективным для предложенного генератора.

Задачи работы:

1. Описать классические способы включения на параллельную работу, рассмотреть возможность их применения для описанной конструкции генератора.
2. Предложить способ синхронизации, который будет наиболее целесообразен для применения на дугостаторном индукторном генераторе для микроГЭС.

### **Основная часть**

На данный момент существуют следующие способы синхронизации [4]:

- Точная синхронизация. Заключается в выравнивании параметров напряжения (его уровня и частоты) между генераторами или генератором и сетью, и включением на параллельную работу в момент совпадения фаз. Преимущества: кратковременность и незначительность переходных процессов в момент включения. Недостатки: сложность согласования и контроля нескольких параметров одновременно, которые зачастую производятся вручную; занимает продолжительное время.

- Самосинхронизация (грубая синхронизация). При данном способе нет необходимости точного согласования всех параметров, включение происходит в момент, при котором разница частот не более 2-5%. Преимущества: сокращение времени, затрачен-

ного на синхронизацию. Недостатки: снижение выходного напряжения и броски токов в момент включения генераторов на параллельную работу.

Использование этих способов при включении дугостаторного индукторного генератора может вызвать некоторые затруднения. Так при способе точной синхронизации не возможен ручной контроль всех параметров, поскольку генератор находится в воде, на достаточно большом удалении от наблюдателя. При грубой же синхронизации возможно появление больших значений электродинамических усилий (ЭДУ) в обмотке якоря и неизвестно, как они повлияют на генератор предложенной конструкции. Возможен как разрыв проводов обмотки, так и ослабление фиксации катушек на зубцах статора, с последующим их выпадением и повреждением о ротор.

Для исключения всех описанных недостатков предлагается использовать автоматический синхронизатор типа СА-1 с вычисляемым углом опережения (рисунок 2) [5].



Рисунок 2 – Структурная схема автоматического синхронизатора типа СА-1

Условие срабатывания синхронизатора:

$$\delta + \delta_{оп} = 2\pi.$$

где  $\delta$  – угол между напряжением сети и ЭДС генератора, град.;  $\delta_{оп}$  – угол опережения для срабатывания синхронизатора, град.

Автоматический синхронизатор СА-1 работает по принципу точной синхронизации следующим образом: при несовпадении уровней ЭДС генераторов (ЭДС генератора и напряжения сети) блок функционального преобразователя (ПФ) формирует сигнал, который переходит в блок формирования времени опережения (БВО). С помощью БВО реализуется уравнение срабатывания синхронизатора (сигнал А). При отклонении частот вращения включается блок подгонки скорости (БПС), который сводит скольжение к минимуму. БВО и БПС отправляют сигналы на блок запрета (БЗ), который формирует запрещающие сигналы: по максимально допустимому углу опережения (В), по несовпадению амплитуд (Е) и по предельному углу опережения (D). Запрещающие сигналы поступают на блок логики (БЛ), который формирует импульс включения выключателя синхронизатора, при соблюдении всех условий синхронизации.

Таким образом синхронизатор позволяет добиться включения генераторов без бросков тока за незначительное время, а также без необходимости ручного контроля и подгонки параметров. Автоматический синхронизатор СА-1 полностью соответствует необходимым требованиям для использования на включение дугостаторных индукторных генераторов для микроГЭС.

### Заключение

В данной работе рассматривался вопрос включения на параллельную работу дугостаторных индукторных генераторов для микроГЭС. Описаны способы синхронизации: точной и грубой, и возможность их применения для генераторов предложенной конструкции. Предложен способ включения генераторов с использованием автоматического синхронизатора СА-1, работающего по принципу точной синхронизации с вычисляемым углом опережения. Был изложен принцип его работы и условие срабатывания, а также его преимущества и применимость к предложенной конструкции.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бутко, В. П. Система децентрализованного электроснабжения на базе микроГЭС с автобалластной системой стабилизации выходных параметров / В. П. Бутко, Р. В. Кузьмин // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2024. – № 1(38). – С. 26-30. – EDN FISDXQ.
2. Патент на полезную модель № 10791 U1 Российская Федерация, МПК F03D 1/00. Генератор для микроГЭС : № 98121288/20 : заявл. 23.11.1998 : опубл. 16.08.1999 / В. М. Кузьмин, Р. В. Кузьмин ; заявитель Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. – EDN VTRGAA.
3. Власьевский, С. В. Устройство автоматического управления тиристорами мостовых выпрямителей со стабилизацией их выходного напряжения для объектов транспортной техники / С. В. Власьевский, Е. М. Лыткина, А. И. Федоренко // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2020. – № 3(43). – С. 29-36. – EDN ZAMMJN.
4. Гладышева, С. С. Способы синхронизации генератора с сетью / С. С. Гладышева, Е. В. Несговоров // Научный поиск в современном мире : сборник материалов XII Международной научно-практической конференции, Махачкала, 29 мая 2016 года. – Махачкала: Общество с ограниченной ответственностью "Апробация", 2016. – С. 23-24. – EDN WCPQUT.
5. Артюхов, И. И. Электрооборудование электрических станций и подстанций : учеб. пособие для студентов направления 551700, специальностей 100400, 100500, 100700 / И. И. Артюхов, В. Д. Куликов, В. В. Тютманова ; И. И. Артюхов, В. Д. Куликов, В. В. Тютманова; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Сарат. гос. техн. ун-т. – Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 2005. – ISBN 5-7433-1571-X. – EDN QMIVHZ.

УДК 004.896

Герашенко Владислава Владимировна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Geraschenko Vladislava Vladimirovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Емельянов Кирилл Андреевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Emelyanov Kirill Andreevich, postgraduate, Komsomolsk-na-Amure State University

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫСОТЫ РЕЗАКА ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ РЕЗКИ MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE SYSTEM OF TORCH HEIGHT STABILISATION OF PLASMA ARC CUTTING PROCESS**

Аннотация. В статье рассматривается математическое описание системы автоматического управления высотой резака плазменной резки. Описаны математические модели объекта управления, структура системы управления с ПИД-регулятором и наблюдателем состояния. Приведен пример подбора параметров ПИД-регулятора, управляющего подачей электропривода подъема резака.

Abstract. The paper deals with the mathematical description of the automatic control system of plasma cutting torch height. The mathematical models of the control object, the structure of the control system with PID-controller and state observer are described. The example of selection of parameters of PID-regulator controlling the feed of electric drive of torch lifting is given.

Ключевые слова: механизированная плазменная резка, математическое описание, система управления, стабилизация высоты реза, наблюдатель состояния

Key words: mechanized plasma cutting, mathematical description, control system, stabilisation of cutting height, state observer

## Введение

Плазменная резка является одной из основных технологий раскроя листового проката разных металлов, обеспечивающей высокую точность и качество реза. Чтобы достичь стабильного качества реза необходимо обеспечить поддержание постоянной высоты резака над поверхностью материала. Для этого применяются автоматизированные системы управления, способные адаптироваться к изменениям профиля материала и внешним возмущениям [1].

Современные системы стабилизации высоты реза (Torch Height Control, THC) представляют собой мехатронные устройства, включающие в себя электропривод, механическую передачу и контур управления. Такие системы должны отвечать следующим требованиям: высокая точность позиционирования, быстродействие и устойчивость к помехам. Эффективность работы данных систем определяется сложностью применяемых алгоритмов управления и техническими характеристиками используемого оборудования.

Цель данной работы – приведение математического описания типовой системы автоматического управления высотой резака, обеспечивающей стабильное и качественное выполнение процесса плазменно-дуговой резки (ПДР).

## Основная часть

Для построения модели системы управления высотой резака рассмотрим мехатронное устройство, включающее электропривод и механическую передачу. Пусть объектом управления является вертикальное перемещение резака, для которого принимаются следующие предположения:

1. Электропривод представлен в виде двигателя постоянного тока (ДПТ) с напряжением  $U$  на входе и моментом  $M_e$  на валу.
2. Механическая передача включает редуктор с передаточным отношением  $k_r$  и линейный механизм, преобразующий вращательное движение в поступательное.

Основное уравнение электрической цепи якоря двигателя:

$$U = IR + L \frac{dI}{dt} + E,$$

где  $I$  – ток якоря,  $R$  – сопротивление,  $L$  – индуктивность,  $E$  – ЭДС.

ЭДС выражается через угловую скорость вала  $\omega$  как:

$$E = k_e \omega,$$

где  $k_e$  – электромеханический коэффициент.

Уравнение вращения ротора двигателя:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_e - M_{\text{нагрузки}},$$

где  $J$  – момент инерции ротора,  $M_{\text{нагрузки}}$  – момент сопротивления.

Момент двигателя  $M_e$  пропорционален току якоря:

$$M_e = k_m I,$$

где  $k_m$  – коэффициент пропорциональности.

Преобразование угловой скорости в поступательное перемещение описывается выражением:

$$v = k_r \omega,$$

где  $v$  – линейная скорость резака.

Связь между угловым и линейным перемещением определяется как:

$$x = \int v dt = \int k_r \omega dt,$$

где  $x$  – вертикальное перемещение резака.

Таким образом, система описывается совокупностью дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} U = IR + L \frac{dI}{dt} + E \\ J \frac{d\omega}{dt} = M_e - M_{\text{нагрузки}} \\ x = \int k_r \omega dt \end{cases}$$

Система управления высотой резака должна обеспечивать точное соблюдение заданного расстояния между резаком и поверхностью обрабатываемого материала. Для этого используется контур управления, который корректирует входное напряжение  $U$  на основе измерения отклонения высоты  $e_x$ .

Управляющее воздействие в системе описывается законом ПИД-регулятора:

$$U(t) = K_p e_x(t) + K_i \int e_x(t) dt + K_d \frac{de_x(t)}{dt},$$

где  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  – коэффициенты пропорционального, интегрального и дифференциального усиления соответственно.

Отклонение высоты определяется как разность между заданной высотой  $x_{ref}$  и текущим положением резака:

$$e_x(t) = x_{ref} - x(t),$$

Объединяя уравнения механической модели электропривода и закон управления, получаем полное описание системы. Вектор состояния  $\mathbf{X}$  системы включает текущие параметры: ток  $I$ , угловую скорость  $\omega$ , положение резака  $x$ , а также интеграл и производную ошибки  $e_x$ :

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} I \\ \omega \\ x \\ \int e_x dt \\ \frac{de_x}{dt} \end{bmatrix},$$

Уравнение состояния имеет вид:

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}U,$$

где  $\mathbf{A}$  – матрица системы,  $\mathbf{B}$  – матрица входов.

Выходная переменная  $y(t)$ , измеряющая текущую высоту резака, определяется как:

$$y(t) = \mathbf{C}\mathbf{X},$$

где  $\mathbf{C}$  – матрица выхода.

Для анализа динамики и синтеза регулятора проведем линеаризацию уравнений вокруг рабочей точки  $(I_0, \omega_0, x_0)$ . Линеаризованное уравнение состояния:

$$\frac{d\Delta\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{A}\Delta\mathbf{X} + \mathbf{B}\Delta U,$$

где  $\Delta\mathbf{X} = \mathbf{X} - \mathbf{X}_0$ ,  $\Delta U = U - U_0$ .

Матрицы  $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{B}$  в рабочей точке определяются параметрами системы. Это позволяет применять методы проектирования линейных систем управления, такие как модальный метод или метод пространства состояний.

Для оценки динамических характеристик системы управления высотой резака используется передаточная функция. Она связывает выходное перемещение  $x(t)$  с входным управляющим воздействием  $U(t)$ .

На основании уравнений электропривода передаточная функция определяется как:

$$W(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{k_m k_r}{(Js+R)(Ls+R) + k_m k_e},$$

где  $s$  – комплексная переменная Лапласа.

Для анализа влияния параметров  $R$ ,  $L$ ,  $J$ ,  $k_m$ ,  $k_e$  можно рассчитать корни характеристического уравнения, что позволяет определить устойчивость системы.

Объединим передаточные функции ПИД-регулятора и объекта управления. Полная передаточная функция системы:

$$W_{total}(s) = \frac{K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s}{1 + (K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s)W(s)}$$

При заданных значениях  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  анализ передаточной функции позволяет исследовать устойчивость системы с помощью критериев Найквиста или корневого годографа.

Для достижения заданных динамических характеристик производим настройку коэффициентов  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ . Это осуществляется путем оптимизации следующих параметров:

- Время переходного процесса  $T_p$ ;
- Перерегулирование  $\sigma$ ;
- Устойчивость.

Пример настройки регулятора методом Ziegler-Nichols:

1. Установить  $K_i = 0$ ,  $K_d = 0$ .
2. Увеличивать  $K_p$  до возникновения устойчивых колебаний (определяется критическое значение  $K_u$  и частота  $T_u$ ).
3. Рассчитать  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  в зависимости от желаемого режима (показано в таблице ниже).

Таблица 1 – Таблица подбора параметров ПИД регулятора

Режим	$K_p$	$K_i$	$K_d$
П	$0.5K_u$	–	–
ПИ	$0.45K_u$	$1.2K_p/T_u$	–
ПИД	$0.6K_u$	$2K_p/T_u$	$0.125K_p T_u$

Оптимизация регулятора позволяет уменьшить ошибку стабилизации и обеспечить требуемое быстродействие.

Для проверки работоспособности системы управления высотой резака и оценки её характеристик проведем моделирование. Исследуются переходные процессы при задающем и возмущающем воздействиях.

При моделировании по задающему воздействию рассчитывается реакция системы на изменение заданной высоты  $x_{ref}(t)$ . Используя передаточную функцию  $W_{total}(s)$ , можно найти отклик системы  $x(t)$  во временной области:

$$x(t) = L^{-1}[W_{total}(s)X_{ref}(s)],$$

где  $L^{-1}$  – обратное преобразование Лапласа.

Для качественной работы системы управляемое движение резака должно быть без колебаний и с минимальным временем стабилизации.

Моделирование проводится с учётом возмущающего воздействия, например, колебаний поверхности металла. Переходной процесс при воздействии возмущающей силы  $F_d(t)$  рассчитывается как:

$$x(t) = L^{-1}[W_d(s)F_d(s)],$$

где  $W_d(s)$  – передаточная функция по возмущению. Для компенсации влияния используется структура с астатическим наблюдателем.

Для повышения устойчивости к возмущениям в контур управления включается наблюдатель состояния, который оценивает недоступные к измерению параметры [2]. Уравнения наблюдателя:

$$\frac{d\hat{X}}{dt} = A\hat{X} + BU + L(y - \hat{y}),$$

где  $\hat{X}$  – оценка состояния,  $L$  – матрица усиления наблюдателя. Настройка матрицы  $L$  проводится для обеспечения быстрого сходимого отклика наблюдателя к реальным значениям.

### **Заключение**

Проведённое исследование системы управления высотой резака позволило разработать математическую модель электропривода, механической передачи и системы управления. Использование адаптивного ПИД-регулятора с астатическим наблюдателем обеспечивает высокую точность стабилизации высоты и устойчивость к возмущающим воздействиям.

Результаты моделирования подтвердили, что предложенная структура управления обладает требуемыми динамическими характеристиками и может быть использована для оптимизации качества плазменной резки.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Емельянов, К. А. Оптимизация параметров процесса механизированной плазменной резки за счет применения развитых нечетких алгоритмов / К. А. Емельянов, С. П. Черный // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 173-175. – EDN DPSVPO.
2. Геращенко, В. В. Синтез системы управления электромеханическим объектом, работающим в сложных условиях функционирования / В. В. Геращенко, А. И. Горькавый // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 153-155. – EDN IOIQIN.

УДК 621.38

Гилёв Антон Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Gilev Anton Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Любушкина Надежда Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Liubushkina Nadezhda Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Electronics and Innovative Technologies, Komsomolsk-on-Amur State University

### **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАДИОКОМПАСА DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR CHECKING THE RADIO COMPASS**

Аннотация. Статья посвящена разработке устройства, предназначенного для проверки радиокompаса. Техническая проверка необходима для определения соответствия нормам основных технических параметров радиокompасов. Существует множество технологических указаний на выполнение регламентных работ, каждое предполагает наличие большого количества устройств и приборов, необходимых для выполнения данной операции. Устройство позволит ограничить набор необходимого оборудования и ускорит процесс проверки.

Abstract. The article is devoted to the development of a device designed to test a radio compass. A technical check is necessary to determine compliance with the standards of the main technical parameters of radio compasses. There are many technological guidelines for the performance of routine maintenance, each assumes the presence of a large number of devices and devices necessary to perform this operation. The device will allow you to limit the set of necessary equipment and speed up the verification process.

Ключевые слова: радиокompас, микроконтроллер, синтезатор частоты, коммутатор высокочастотных сигналов, излучающие элементы.

Key words: radio compass, microcontroller, frequency synthesizer, high-frequency signal switch, emitting elements

### **Введение**

Радиокompас – сложный навигационный прибор. Он предназначен для ориентации летательного устройства по сигналам, передаваемым от наземных радиостанций. Направление определяется так называемым «курсовым углом радиостанции» – отклонение воздушного судна от наземной радиостанции. Значение измеренного курсового угла радиостанции передается на индикатор воздушного судна и в бортовую навигационную систему. Курсовой угол радиостанции позволяет экипажу решать навигационные задачи – выполнять полет, определять пеленг радиостанции, поэтому надежная работа навигационной системы является сверхприоритетной задачей в любое время суток. Техническое обслуживание радиомаяка обеспечивает необходимую надежность, предупреждает возможные отказы и рабочие характеристики в установленных пределах. Профилактические работы включают несколько этапов, направленных на чистоту и порядок, устранение дефектов, проверку рабочих характеристик для установления соответствия требованиям и организационных мероприятий по материально-техническому обеспечению. Данный вид работ всегда проводится планомерно, через определенный календарный срок и не зависит от наработки аппаратуры. Поэтому актуальность автоматизированного устройства, позволяющего облегчить выполнение данной задачи, достаточно оправдано.

### **Основная часть**

Основная задача при разработке устройства для проверки радиокompаса заключается в определении курсового угла. В навигации угол между продольной осью воздушного судна и направлением на радиостанцию, отсчитываемый по часовой стрелке определяет пеленг движения летательного аппарата. На точность определения курсового угла влияют рельеф местности, строения, мачты, сами элементы самолета, а также различные эффекты, возникаемые при распространении радиоволн средневолнового диапазона.

Структурно радиокompас состоит из направленной и ненаправленной антенн, приемника, схемы управления направленной антенны, двигателя с редуктором, компенсатора радиодeviации и датчика углового положения антенны. По своей сути это система автоматического управления чувствительным элементом – направленной антенной, которая обеспечивает настройку конструктивных осей в направлении пеленгуемой радиостанции.

Радиокompас может работать в режимах: «Антенна», «Компас», некоторые модели работают в режиме «Рамка». Каждый режим предполагает определенный режим работы чувствительных элементов – работа в качестве радиоприемника, определение курсового угла или ручное пеленгование радиостанции.

Существует несколько методов определения пеленга: фазовый – если измеряют фазовые сдвиги сигналов, возбуждаемые в антеннах; частотный – если используется

частотная модуляция сигналов совместно с амплитудной. Пеленг определяется по методу максимума, минимума или сравнения амплитуд (рисунок 1).

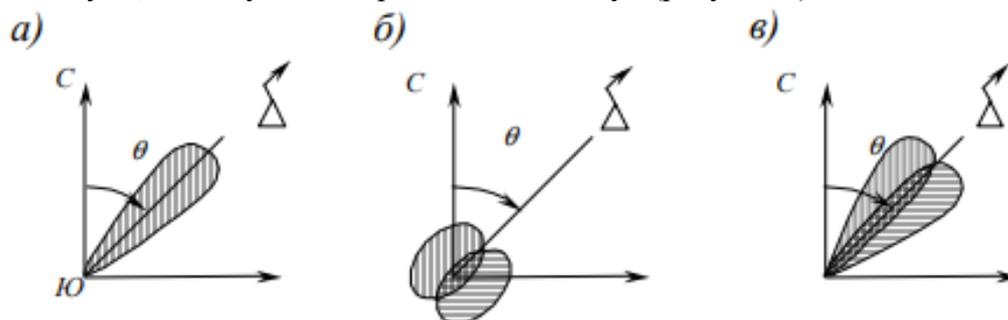


Рисунок 1 – Методы определения направления на источник излучения:

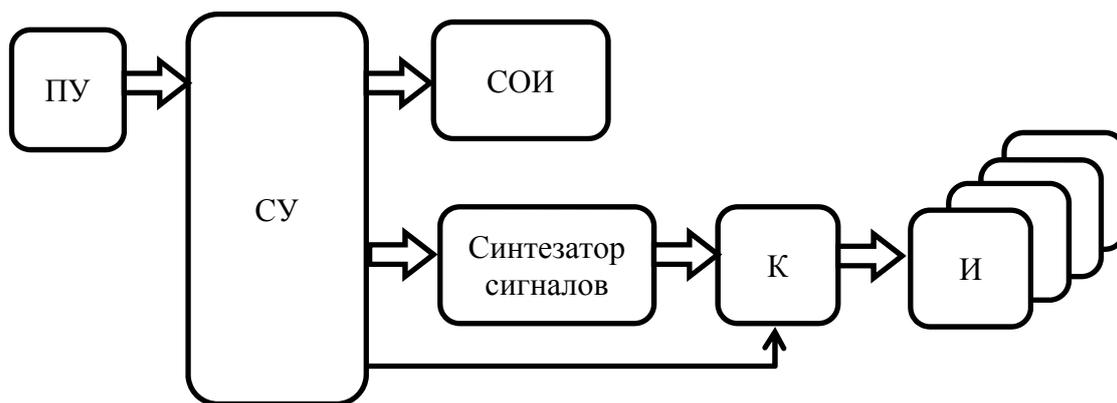
а – максимума; б – минимума; в – сравнения сигналов

Метод максимума предполагает определение максимума принимаемого сигнала от источника излучения. Имеется существенный недостаток – сложно создать узкую диаграмму направленности и обеспечить большую дальность. При пеленговании по методу минимума радиостанция одновременно принимает сигналы на две антенны. Одна антенна является ненаправленной, она имеет круговую диаграмму направленности. Вторая антенна – рамочная. Изначально диаграмма рамочной антенны - два одинаковых по форме и величине лепестка. Если плоскость рамочной антенны перпендикулярна направлению на радиостанцию, уровень сигнала будет минимален. На входе радиокompаса сигналы антенн с определенными весовыми коэффициентами суммируются. Чтобы скорректировать направление воздушного судна необходимо повернуть рамочную антенну с помощью устройства слежения радиокompаса и определить минимум ее диаграммы направленности. Метод сравнения сигналов предполагает использование двухлепестковой диаграммы направленности, каждый лепесток при этом промодулирован разными частотами. Если сигналы с обоих лепестков равносильны, значит направление правильное. Метод считается более точным, но из-за сложности антенной системы имеет более сложную техническую реализацию.

Структурная схема устройства для проверки радиокompаса приведена на рисунке 2.

Устройство для проверки радиокompаса представляет собой передатчик сигналов, который имитирует работу приводных радиомаяков - излучателей, обеспечивая облучение приёмной антенны автоматического радиокompаса с разных, строго определённых ракурсов. Для того чтобы облучать антенну радиокompаса с разных ракурсов, излучатели проектируемого устройства должны быть расположены на кольцевой раме с диаметром от двух до трех метров вокруг летательного аппарата. Излучатели поочередно подключаются через коммутатор высокочастотных сигналов по командам, подаваемым от микроконтроллера.

Устройство для проверки радиокompаса разработано на базе контроллера ATmega328. Данный контроллер используется в качестве системы управления, он прост в разработке программной части, от которой зависит качество навигационной системы. Информация о синтезируемой частоте выводится на систему отображения информации - на светодиодный дисплей OLED 128x64.



ПУ – пульт управления; СУ – система управления; СОИ – система отображения информации; К – коммутатор; И - излучатель

Рисунок 2 – Структурная схема устройства для проверки радиоконпаса

Синтезатор сигналов разработан на базе микросхемы SI5351. Установка частот и позывных сигналов имитируемого радиомаяка обеспечивается работой программного обеспечения микроконтроллера.

### Заключение

Задача проверки радиоконпаса достаточно актуальна, от технического состояния этого устройства зависит судьба воздушного судна, жизнь пилотов. Техника не стоит на месте, на многие самолеты устанавливаются более современные радиоконпасы, поэтому проведение регламентных работ зависит от расширенных функциональных возможностей устройства проверки. Для снижения эксплуатационных затрат предложенного устройства для проверки радиоконпаса предложена простая конструкция излучателей в виде кольцевой рамы, располагаемой вокруг воздушного судна, упрощает алгоритм проверки радиоконпасов.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зикий, А. Н. Преобразование частоты радиосигналов в телекоммуникационных системах : учебное пособие / А. Н. Зикий, А. В. Помазанов, А. П. Пленкин ; Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022. - 195 с. - ISBN 978-5-9275-4207-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2039091> (дата обращения: 09.12.2024). – Режим доступа: по подписке.
2. Девятков, Г. Н. Моделирование и автоматизированное проектирование широкополосных преобразователей частоты / Девятков Г.Н. - Новосибирск : НГТУ, 2010. - 68 с.: ISBN 978-5-7782-1345-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/558888> (дата обращения: 09.12.2024). – Режим доступа: по подписке..
3. Водовозов, А. М. Микроконтроллеры для систем автоматики : учебное пособие / А. М. Водовозов. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. - 168 с. - ISBN 978-5-9729-1071-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1903136> (дата обращения: 09.12.2024). – Режим доступа: по подписке.
4. Бартенев, В. Г. Модельно-ориентированное проектирование программируемых радиотехнических устройств. Практический курс : практическое руководство / В. Г. Бартенев. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2019. - 116 с. - ISBN 978-5-9912-0775-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2051276> (дата обращения: 09.12.2024). – Режим доступа: по подписке.
5. Шахгильдян, В. В. Проектирование устройств генерирования и формирования сигналов в системах подвижной радиосвязи : учебное пособие / В. В. Шахгильдян, В. Л.

Карякин ; под ред. В. В. Шахгильдян. - Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2013. - 400 с. - ISBN 978-5-91359-088-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2185851> (дата обращения: 09.12.2024). – Режим доступа: по подписке.

УДК 621.31

Голубева Виктория Игоревна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Golubeva Victoria Igorevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Alexey Valerievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Electronics and Innovative Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ELECTRONIC UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY SYSTEM DEVELOPMENT**

Аннотация. Разрабатывается источник бесперебойного питания (ИБП), основной задачей которого является защита систем автоматики и связи от прерываний подачи напряжения из питающей сети. Для выполнения этой функции используются установленные в корпусе ИБП аккумуляторы. Дополнительной функцией является защита от колебаний напряжения, перенапряжений и других неблагоприятных факторов, связанных с нестабильным питанием, посредством встроенного стабилизатора напряжения. Разработанный ИБП предусматривает два режима работы: первый – при стабильной подаче напряжения из сети, когда нагрузка получает питание непосредственно от сети, и второй – при отсутствии напряжения в сети, где нагрузка питается от аккумулятора. Также предусмотрена возможность увеличения продолжительности автономной работы за счёт добавления дополнительных аккумуляторов благодаря модульной конструкции прибора.

Abstract. An uninterruptible power supply (UPS) is being developed, the main task of which is to protect automation and communication systems from voltage interruptions from the supply network. To perform this function, the batteries installed in the UPS case are used. An additional function is protection against voltage fluctuations, overvoltages and other adverse factors associated with unstable power supply by means of a built-in voltage stabilizer. The developed UPS provides two modes of operation: the first – with a stable supply of voltage from the mains, when the load is powered directly from the mains, and the second – in the absence of voltage in the network, where the load is powered by a battery. It is also possible to increase the battery life by adding additional batteries due to the modular design of the device.

Ключевые слова: источник бесперебойного питания, электрическая схема, стабилизация напряжения.

Keywords: uninterruptible power supply, electrical diagram, voltage stabilization.

### **Введение**

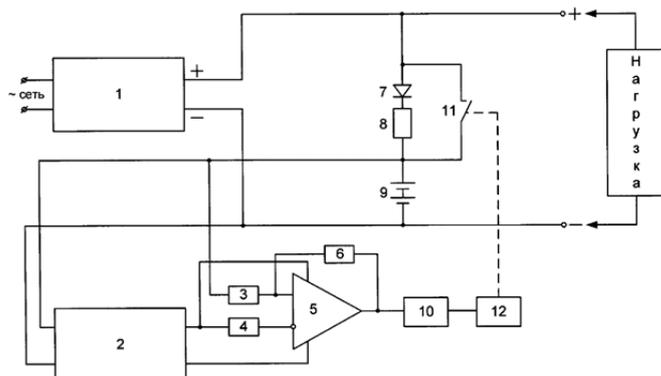
В некоторых регионах стабильность параметров электроэнергии оставляет желать лучшего – достаточно часто происходят отклонения питающего напряжения от заданных параметров, происходят «провалы», «всплески» напряжения, а также полное прекращение подачи электроэнергии потребителю.

От описанных нештатных ситуаций электрооборудование можно защитить с помощью источника бесперебойного питания (ИБП). Зачастую на промышленных предприятиях ИБП устанавливают для защиты компьютеров, серверов, операторных и инженерных станций, программируемых логических контроллеров, а также средств автоматики и связи, так как эти устройства являются наиболее чувствительными к колебаниям напряжения и его пропаданию. В дополнение к этому, все вышеперечисленные элементы работают с большим количеством данных, потеря которых может привести к серьезным последствиям, как для экономической, так и для экологической безопасности. Потеря связи также может привести к этим последствиям.

В связи с высокой актуальностью проблемы нестабильного электропитания целью работы является разработка схемы системы бесперебойного электроснабжения.

### Существующие системы бесперебойного электроснабжения

Ближайшим аналогом разрабатываемого устройства можно считать патент №2007112160/09 от 02.04.2007. Схема предложенного в патенте устройства приведена на рисунке 1.



1 – AC/DC преобразователь, 2 – стабилизатор напряжения, 3, 4, 5, 6 – элементы схемы компаратора с гистерезисом, 7, 8 – схема заряда аккумулятора, 9 – свинцово-кислотный аккумулятор, 10 – усилитель тока, 11, 12 – электромагнитное реле

Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Данное техническое решение обладает следующим недостатком - отсутствие звукового оповещения о прекращении подачи напряжения от питающей сети, что в свою очередь усложняет работу пользователя.

### Функциональная схема предлагаемого решения

В качестве электронной системы бесперебойного электроснабжения предлагается использовать устройство, функциональная схема которого представлена на рисунке 2.

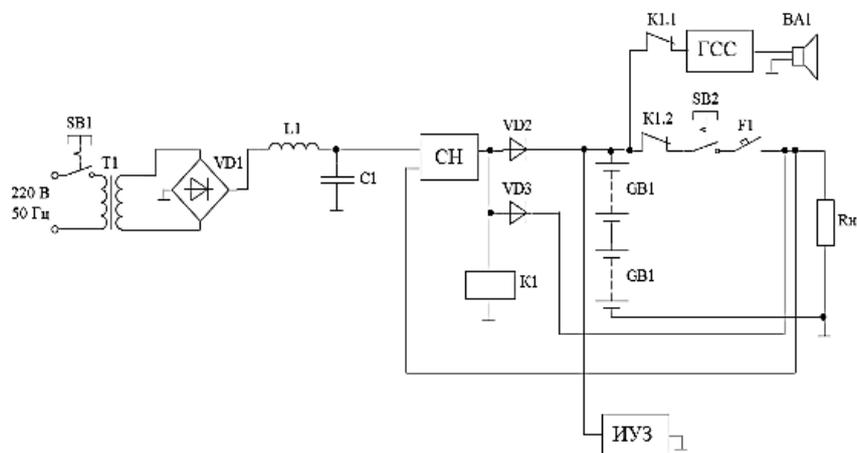


Рисунок 2 – Функциональная схема устройства

Сетевое напряжение 220 В частотой 50 Гц понижается с помощью трансформатора Т1, выпрямляется с помощью мостового неуправляемого выпрямителя VD1, после чего попадает на фильтр L1-C1, где окончательно получает форму постоянного напряжения.

С помощью стабилизатора напряжения СН система защищается от перепадов напряжения, его скачков и колебаний. Стабилизатор напряжения сравнивает заданное значение со значением напряжения на нагрузке. Если имеется расхождение в величинах, то происходит коррекция.

Блок коммутации представляет из себя ключ на основе электромагнитного реле с нормально-замкнутым контактом (К1). При протекании тока через канал от стабилизатора напряжения к нагрузке контакт между нагрузкой и блоком аккумуляторов будет разомкнут. При резком отключении источника бесперебойного питания от электрической сети, контакт в реле вернется в замкнутое положение, прикладывая тем самым напряжение от блока аккумуляторов к нагрузке. Для оповещения пользователей об обрыве питания от промышленной сети и переходе на работу от аккумуляторов используется динамик, подключенный к генератору синусоидального сигнала (ГСС). Для оповещения пользователей об уровне заряда аккумуляторов будет использоваться измеритель уровня заряда (ИУЗ).

В качестве блока аккумуляторов будет применяться схема из двух соединённых последовательно аккумуляторов (GB1 и GB2) напряжением 12 В. Такой подход позволяет получить на выходе напряжение номиналом 24 В. Также, применяя такой метод, появляется возможность модульной установки дополнительных аккумуляторов и замены неисправных.

Автоматический выключатель F1 защищает систему от перегрузки по току.

Диоды VD1 и VD2 необходимы для однонаправленного протекания тока от стабилизатора напряжения к блоку аккумуляторов и нагрузке.

Кнопки SB1 и SB2 необходимы для обесточивания источника бесперебойного питания, необходимое для профилактических работ и планового ремонта.

### **Заключение**

Таким образом, разработка электронной системы бесперебойного электроснабжения является актуальной задачей. Основные преимущества предложенной разработки заключаются в гибкости режимов работы, возможности увеличения емкости аккумулятора для продления автономного режима, а также наличии удобных функций для обслуживания и мониторинга состояния системы. Звуковая сигнализация и автоматическая защита от перегрузок делают использование ИБП безопасным и удобным для конечного пользователя.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Кушнер, Д. А. Основы промышленной электроники : учебное пособие / Д. А. Кушнер. – Минск : РИПО, 2020. - 268 с.
2. Марченко, А. Л. Электротехника и электроника: Учебник. В 2 томах. Том 1: Электротехника / А.Л. Марченко, Ю.Ф. Опачий - Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 574 с.
3. Власов, А. Б. Электроника. Аналоговые элементы и узлы электронной аппаратуры : учебное пособие / А. Б. Власов. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. - 264 с.
4. Микаева, С. А. Электроника и схемотехника : учебное пособие / С. А. Микаева, А. Н. Брысин, Ю. А. Журавлева. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. - 184 с.

УДК 681.511.22:681.5.033.25

Грищенко Филипп Васильевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Grishchenko Philip Vasilievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Савельев Дмитрий Олегович, старший преподаватель, руководитель центра робототехники, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savelyev Dmitriy Olegovich, Senior Lecturer, Head of Robotics Center, Komsomolsk-na-Amure State University

## **АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ STABILITY ANALYSIS OF DYNAMIC DISCRETE CONTROL SYSTEM**

Аннотация. В настоящее время существует широкий спектр технических компонентов и средств, позволяющих реализовывать сложные законы регулирования систем управления. Такие средства имеют различия в своей структуре и способу формирования управления, исходя из принципов функционирования и способов представления сигналов. В данной статье рассматривается проблема анализа устойчивости дискретных систем управления, что является ключевым аспектом при проектировании и оптимизации автоматизированных систем.

Abstract. Nowadays there is a wide range of technical components and means allowing to realize complex laws of control systems regulation. Such means have differences in their structure and the way of control formation, based on the principles of functioning and ways of signal representation. This paper considers the problem of stability analysis of discrete control systems, which is a key aspect in the design and optimization of automated systems.

Ключевые слова: САУ, устойчивость, динамические системы, дискретные системы управления, дискретность.

Key word: ACS, stability, dynamic systems, discrete control systems, discretion.

### **Введение**

Наряду с привычным представлением сигналов в системах автоматического управления (САУ) с непрерывными сигналами, по сей день, находят применение системы, сигналы в которых дискретны по времени. Преобразование из непрерывного сигнала в сигнал с дискретной составляющей за счет разбиения его диапазона на конечное число уровней именуется квантованием. Дискретность сигналов может быть выражена одним из трех возможных вариантов квантования, например временным, либо по уровню, а также способов, сочетающим и оба параметра. Таким образом, по типу квантования дискретные системы управления (ДСУ) можно классифицировать следующими категориями: импульсные, релейные и цифровые.

Для повышения эксплуатационно-технических характеристик систем управления применяют импульсные и цифровые устройства, поскольку к ним можно отнести большую надежность, а также устойчивость к внешним возмущениям. Цифровые управляющие устройства обладают большей гибкостью по сравнению с аналоговыми устройствами и позволяют вносить различные коррекции на программном и аппаратном уровнях [1; 2].

### **Основная часть**

Для непрерывных систем в основном используют преобразование Лапласа. Для задач анализа ДСУ используют Z-преобразование. Так для некоторого дискретного сигнала  $x[n]$ , Z-преобразование  $X[z]$  представляет собой [2]:

$$X[z] = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n] \cdot z^{-n}, \quad (1)$$

где  $z$  – комплексное число.

В записи комплексной переменной, уравнение имеет вид:

$$z = r \cdot e^{j\omega}, \quad (2)$$

где  $r$  – модуль;  $\omega$  – аргумент комплексной переменной.

выражение (1) примет вид:

$$X[z]|_{z=e^{j\omega}} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n] \cdot z^{-n}. \quad (3)$$

Выражение (3) является дискретным преобразованием Фурье от дискретного сигнала  $x[n]$ . В общем случае,  $X[z]$  представляет некоторую поверхность. В ее сечении отображается АЧХ дискретного сигнала (при  $|z| = 1$ ).

Устойчивость ДСУ определяется посредством анализа, который производится подобно анализу непрерывных САУ. В таком случае рассматривается расположение полюсов относительно единичной окружности  $|z| = 1$ , а не относительно мнимой оси  $j\omega$ .

На корневом годографе (рисунок 1) представлена единичная окружность. На представленной окружности маркерами отмечены особые точки, представляющие собой полюсы системы (крестики) и ее нули (окружности). Красная и голубая кривые демонстрируют изменения положения нулей и полюсов в зависимости от изменения коэффициента усиления  $K$  обратной связи замкнутой САУ.

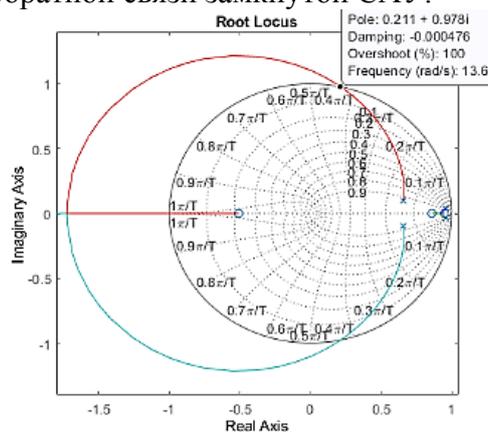


Рисунок 5 – Корневой годограф исследуемой системы

Определение коэффициентов усиления, при которых система регулирования будет устойчивой, а также оценка величина перерегулирования при ступенчатом воздействии на систему определяется на основании построения корневого годографа [2].

Условием устойчивости является нахождение полюсов внутри единичной окружности. Расположение полюсов на границе единичной окружности говорит о ее условной устойчивости [3].

Структурная схема рассматриваемой системы (рисунок 2).

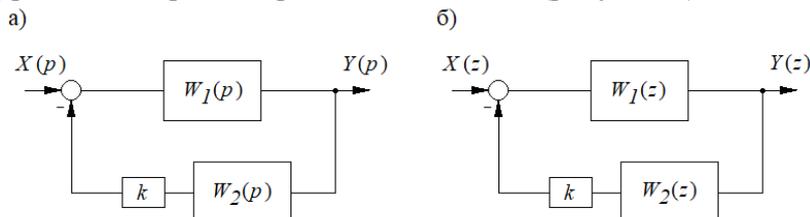


Рисунок 6 – Структурная схема системы

а – непрерывная; б – импульсная

Передаточные функции звеньев непрерывной системы:

$$W_1(p) = \frac{0.1 \cdot p^2 + 10 \cdot p + 5}{p^3 + 8 \cdot p^2 + 4 \cdot p + 2}$$

$$W_2(z) = \frac{2 \cdot p + 1}{2 \cdot p + 3}$$

Произведя дискретное преобразование Лапласа, передаточные функции (импульсной системы) будут иметь вид:

$$W_1(z) = \frac{0.04636 \cdot z^2 + 0.02046 \cdot z + 0.02247}{z^3 - 2.421 \cdot z^2 + 1.872 \cdot z - 0.4493}$$

$$W_2(z) = \frac{z - 0.9536}{z - 0.8607}$$

Модель системы представлена на рисунке 3.

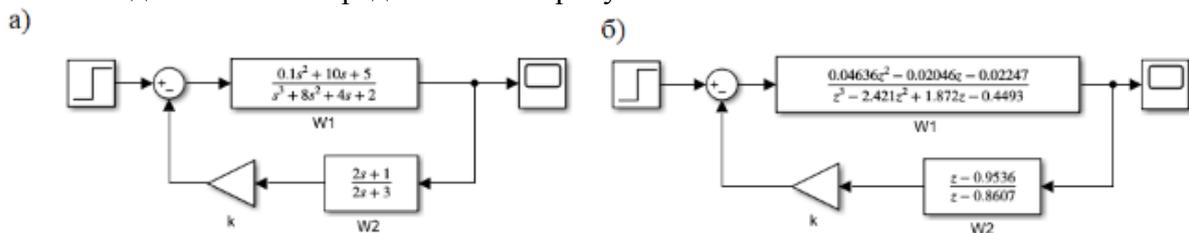
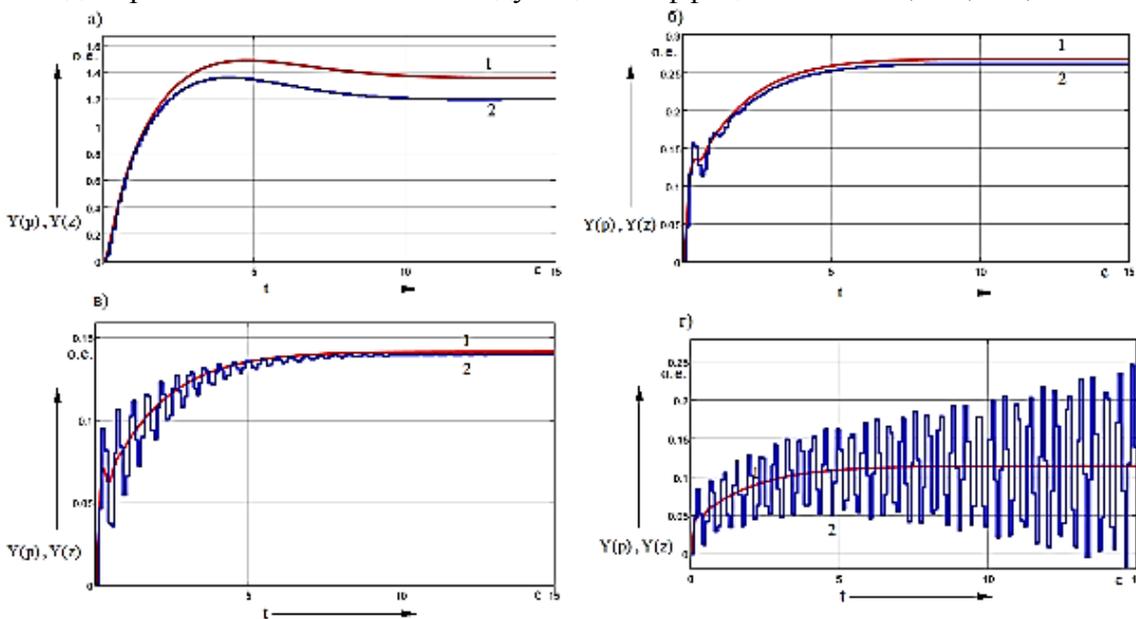


Рисунок 7 – Модель системы  
а – непрерывная; б – импульсная

Графики, демонстрирующие реакцию системы (рисунок 3) при различных коэффициентах обратной связи на функцию Хевисайда, представлены на рисунке 3 [4]. При моделировании использованы следующие коэффициенты  $k = 1, 10, 20, 25$ .



1 – непрерывная; 2 – импульсная

Рисунок 8 – График переходного процесса системы  
а – коэффициент усиления  $k = 1$ ; б – коэффициент усиления  $k = 10$ ;  
в – коэффициент усиления  $k = 20$ ; г – коэффициент усиления  $k = 25$

Можно отметить, что при увеличении коэффициента обратной связи  $k$  за пределы единичной окружности возникают автоколебания в переходном процессе. В этом случае переходный процесс не стабилизируется и становится расходящимся, что указывает на неустойчивость системы. Отобразим поведение системы с коэффициентом (рисунок 1), при котором переходной процесс представляет собой незатухающие коле-

бания, а система находится на границе устойчивости. Представим переходной процесс при  $k = 21.8$ , в случае, когда система находится на границе устойчивости (рисунок 5).

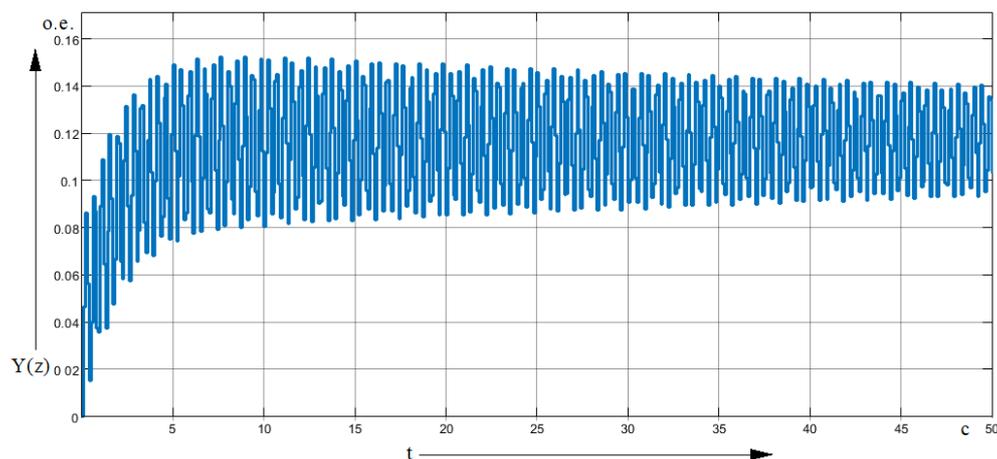


Рисунок 9 – График переходного процесса системы при подаче единичного ступенчатого воздействия при  $k = 21.8$

### Заключение

Исходя из представленного материала, можно сделать вывод, что изменение параметров САУ, таких как коэффициенты обратной связи, существенно влияет на устойчивость. Исследование подчеркивает важность подбора параметров при проектировании систем управления. Устойчивость дискретных систем управления является критически важным аспектом их проектирования и эксплуатации. Применение предложенных методов анализа позволяет повысить надежность и эффективность систем, что особенно актуально в условиях быстроменяющейся технологической среды [2; 5].

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гринфельд, Г.М. Дискретные системы управления: учеб. пособие. – Комсомольск-на-Амуре: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре гос. техн. ун-т» 2014. – 72 с.
2. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования : учеб. пособие для вузов / В. В. Солодовников, В. Н. Плотников, А.В. Яковлев [и др.] – Москва : Машиностроение, 1985. – 536 с.
3. Методы классической и современной теории автоматического управления. В 5 томах. Том 3. Синтез регуляторов систем автоматического управления : учеб. пособие / К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Барки. [и др.]. – Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004 – 656 с.
4. Бесекерский В.А. Цифровые автоматические системы / В.А. Бесекерский. – Москва : Наука, 1976. – 575 с.
5. Иващенко, Н.Н. Автоматическое регулирование: теория и элементы систем: Учебник / Н. Н. Иващенко. - 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1978; 1973. – 736 с.

УДК 621.438.9

Золотухина Елена Юрьевна, инженер-конструктор, АО «Силовые машины», соискатель ученой степени при высшей школе атомной и тепловой энергетики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Zolotukhina Elena Yuryevna, JSC «Power machines», Saint Peterburg, Russia, candidate for a degree of «higher School of Nuclear and Thermal Power Engineering» of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Найпак Ксения Александровна, инженер-конструктор, АО «Силовые машины», соискатель ученой степени при высшей школе атомной и тепловой энергетики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Naupak Ksenia Alexandrovna, JSC «Power machines», Saint Peterburg, Russia, candidate for a degree of «higher School of Nuclear and Thermal Power Engineering» of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

## **ВЛИЯНИЕ ВПРЫСКА ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА НА ПАРАМЕТРЫ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ THE EFFECT OF WATER AND STEAM INJECTION ON THE PARAMETERS OF A GAS TURBINE**

Аннотация. В статье приводится анализ влияния впрыска воды и водяного пара в узлы газовой турбины на эффективность газотурбинного цикла. Особое внимание уделяется рассмотрению методам впрыска воды и водяного пара на входе в компрессор и в камеру сгорания. Рассмотрены достоинства и недостатки каждого из вариантов впрыска в газотурбинную установку, предложены варианты модернизации турбины для реализации впрыска воды и водяного пара в установку.

Abstract. The article provides an analysis of the effect of water and steam injection into gas turbine units on the efficiency of the gas turbine cycle. Special attention is paid to the consideration of the method of injection of water and steam at the inlet to the compressor and into the combustion chamber. The advantages and disadvantages of each of the injection options into a gas turbine installation are considered, and options for upgrading the turbine to implement water and steam injection into the installation are proposed.

Ключевые слова: газовая турбина, впрыск водяного пара, впрыск воды, компрессор, камера сгорания

Key words: gas turbine, steam injection, water injection, compressor, combustion chamber

### **Введение**

Изучение вопроса впрыска воды или водяного пара в узлы газовой турбины является одним из перспективных направлений современной энергетики. В настоящий момент наибольшее развитие получают установки, позволяющие увеличить производственные мощности без увеличения вреда окружающей среде или даже с его снижением [1].

Впрыск воды или водяного пара в газотурбинную установку (ГТУ) может производиться в любых ее узлах: компрессор, камера сгорания, газовая турбина. Однако при проведении исследовательских работ было выяснено, что впрыскивание воды и пара непосредственно в узел газовой турбины является нецелесообразным из-за угрозы повреждения лопаток турбины, появления эрозии и коррозии, а также влечет за собой нарушение аэродинамических характеристик турбины.

Наиболее перспективными установками являются газовые турбины с впрыском водяного пара или воды на входе в компрессор или в камеру сгорания (КС). Впрыск воды или водяного пара в проточную часть ГТУ применяется как в установках малой мощности, так и в установках больших и средних мощностей. Основными причинами

внедрения впрыска воды и водяного пара в ГТУ являются: снижение образования оксидов азота (NO<sub>x</sub>) в камере сгорания, снижение температуры лопаток путем использования пара вместо сжатого воздуха, улучшение тепловой эффективности, общее увеличение мощности установки и КПД [2].

Данная работа направлена на исследование влияния впрыска воды и водяного пара в ГТУ, обобщение и систематизацию полученной информации для разработки оптимальной схемы работы ГТУ с впрыском воды или водяного пара и выполнение дальнейших расчетов.

#### **ГТУ с впрыском воды или водяного пара в компрессор**

Впрыск воды или водяного пара в компрессор ГТУ (рисунок 1) имеет несколько значительных результатов, которые позволяют улучшить производительность и эффективность всей установки.

Основные аспекты, улучшающие работу ГТУ при впрыске пара в компрессор:

- увеличение мощности установки за счет увеличения плотности входящего воздуха, что обеспечивает возможность сжатия компрессором большего количества воздуха при увеличении расхода рабочего тела и, соответственно, энергии на выход;
- снижение температуры в компрессоре, при уменьшении рисков перегрева узлов турбины;
- улучшение характеристик в условиях частичной нагрузки путем поддержания оптимальных характеристик работы ГТУ;
- снижение рисков кавитации, что приводит к повышению надежности оборудования;

Понижение температуры воздуха между ступенями компрессора путем впрыска (инъекции) воды мельчайшими каплями до 25 мкм позволяет снизить работу на сжатие в компрессоре, увеличивая при этом массовый расход воздуха через него на 23 %, повышая выработку электрической энергии на 28 % и увеличивая КПД брутто на 40 % [3].

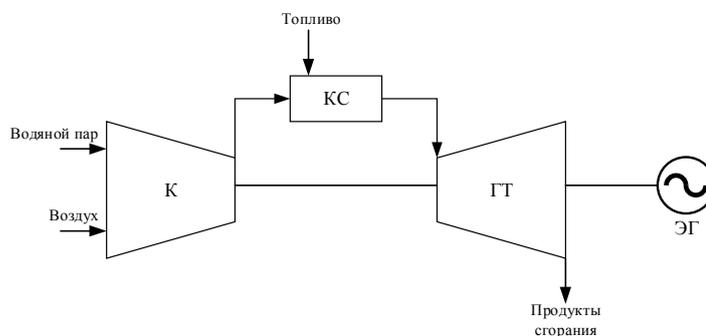


Рисунок 1 – Принципиальная схема ГТУ с впрыском водяного пара в компрессор

#### **ГТУ с впрыском воды или водяного пара в камеру сгорания**

Впрыск воды или водяного пара в КС (рисунок 2) позволяет оптимизировать следующие характеристики:

- улучшение термодинамической эффективности цикла за счет улучшения смесеобразования и более полного сгорания топлива в КС, что приводит к более высокой теплотворной способности;
- снижение температуры в КС, при снижении рисков перегрева;
- снижение выбросов NO<sub>x</sub> за счет снижения пиковых температур в КС;
- снижение риска образования углеродных отложений и других, загрязняющих КС отложений.

Впрыск пара в КС ГТУ приводит к снижению эмиссии NO<sub>x</sub> на 12%, а также увеличению КПД установки на 3,6% и одновременному повышению вырабатываемой мощности установки [3].

Необходимо тщательно следить за количеством подаваемого пара в КС, чтобы избежать «недожог» и повышение концентрации угарного газа (СО).

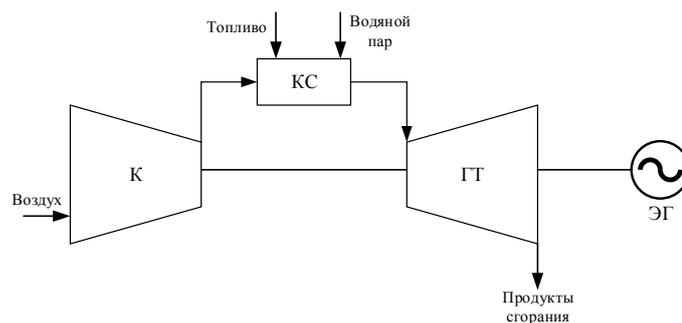


Рисунок 2 – Принципиальная схема ГТУ с впрыском водяного пара в камеру сгорания

### **Заключение**

Выбор оптимальной схемы впрыска пара в ГТУ зависит от конкретных целей и требований, которые планируется достичь в дальнейшей работе. Как видно из описания преимуществ каждой из схем, можно сделать вывод, что оба представленных варианта работоспособны и могут применяться на станции.

Простота конструкции ГТУ с впрыском пара по сравнению с бинарными установками приводит к значительному сокращению капитальных затрат и уменьшению стоимости выработки электроэнергии, позволяя снизить сроки возврата инвестиций. Однако также необходимо учесть значительное кол-во факторов, влияющих и на удорожание установки, в том числе затраты на внедрение установки для выработки более качественной обессоленной воды и разработка систем водоподготовки для предотвращения коррозии и эрозии узлов установки. Также необходимо обеспечить точное регулирование впрыска воды или водяного пара для достижения оптимальных условий работы и минимизации рисков повреждений установки, что в свою очередь тоже приводит к удорожанию установки.

Дополнительно необходимо учесть, что несмотря на то, что впрыск воды или водяного пара позволяет увеличить КПД отдельных узлов ГТУ, общий КПД установки может понизиться, в связи с чем возникает потребность более осмысленного внедрения данной технологии в практику.

Опираясь на полученную информацию в ходе исследования, можно сделать вывод, что впрыск воды или водяного пара в компрессор целесообразен в случаях, когда необходимо продлить срок службы компрессора, снизить термическую нагрузку узла и количество вредных выбросов в атмосферу. Впрыск воды или водяного пара в КС целесообразен в случаях, когда необходимо повысить мощность узла, снизить температуру в КС и уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу.

Однако, можно отметить, что при комбинировании двух представленных методов впрыска воды или водяного пара в ГТУ можно достичь наилучших результатов и при более подробном изучении данного вопроса снизить капитальные затраты на установку, а также повысить ее общий КПД.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Батенин В.М. Парогазовая установка с вводом пара в газовую турбину – перспективное направление развития энергетических установок / Ю.А. Зейгарник, С.З. Копелев и др. // Теплоэнергетика . – 1993 – С. 46-52.
2. Бунькова О.И. Влияние впрыска пара в газовую турбину на эффективность цикла / О.И Бунькова, Т.Ф. Богатова // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых

ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 09–13 декабря 2019 г.). – Екатеринбург : 2019. – С. 794-797.

3. Шишин А.А., Титов А.В., Осипов Б.М., Кривоносова В.В. Исследование впрыска воды и подвода пара в проточную часть энергетической газотурбинной установки ГТЭ-65. – 2012 г. – УДК: 621.577 – С. 47-51.

УДК 621.365

Зубарев Иван Петрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zubarev Ivan Petrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Сериков Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Serikov Aleksandr Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

### **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОМ НАГРЕВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ANALYSIS OF PROBLEMS IN ELECTRIC CONTACT HEATING OF METAL BLANKS**

Аннотация. Термическая обработка металлов и сплавов широко используется в процессе изготовления деталей различного назначения. В работе предложена структура электротехнической системы нагрева металлических листовых заготовок на основе трансформаторного оборудования. Выявлены основные проблемы, возникающие в процессе электроконтактного нагрева заготовок при использовании такой электротехнической системы. Анализ этих проблем позволил выявить пути их устранения.

Abstract. Heat treatment of metals and alloys is widely used in the process of manufacturing parts for various purposes. The paper proposes a structure of an electrical system for heating sheet metal blanks based on transformer equipment. The main problems that arise in the process of electric contact heating of blanks using such an electrical system are identified. An analysis of these problems made it possible to identify ways to eliminate them.

Ключевые слова: трансформатор, нагрев, регулирование нагрева, металлическая заготовка.

Key words: transformer, heating, heating regulation, metal blank.

#### **Введение**

Технология нагрева заготовок играет ключевую роль в таких производственных процессах, как ковка, штамповка, термообработка и сварка. Существующие электротермические технологии нагрева сталкиваются с проблемами, связанными с неравномерностью нагрева, большим энергопотреблением и износом оборудования [1]. Одним из путей решения этих проблем является использование методов регулирования напряжения и мощности трансформатора. Возможность гибкого управления током, напряжением и мощностью позволяет адаптировать процесс нагрева к изменяющимся условиям, размерам и физическим свойствам заготовки, что улучшает качество нагрева и снижает эксплуатационные издержки [2]. Контактный нагрев с использованием трансформаторов является эффективным способом термической обработки листовых заготовок, обеспечивающим высокий уровень контроля параметров нагрева [3].

Целью работы является выявление основных проблем, возникающих при использовании контактного нагрева заготовок, а также поиск основных путей их устранения.

## Основная часть

При использовании технологии электроконтактного нагрева можно выделить следующие основные проблемы.

Неравномерность нагрева заготовки. Неравномерное распределение температуры по объёму заготовки приводит к локальным перегревам или недогревам. Это может стать причиной внутренних напряжений, структурных дефектов и ухудшения механических свойств материала. Неравномерность нагрева зависит от размеров заготовки, условий теплообмена с окружающей средой, способов крепления токоподводов к заготовке, параметров контактных соединений.

Высокие энергозатраты. Избыточное потребление электроэнергии обусловлено невозможностью точного контроля мощности нагрева. Это приводит к потере энергии на бесполезный нагрев оборудования и окружающей среды. Особенно эта проблема актуальна при большом количестве контактных соединений, необходимых для организации вторичной цепи понижающего трансформатора, в которую включается нагреваемая металлическая заготовка в качестве нагрузки. Контактные соединения образованы между элементами токоподводящих шин, гибких токоподводов, различных контактных аппаратов, обеспечивающих надежное электрическое соединение с нагреваемой заготовкой. Такие соединения имеют достаточно высокое электрическое сопротивление, что при протекании больших токов приводит к достаточно существенным потерям электрической энергии, выделяющейся в виде тепла.

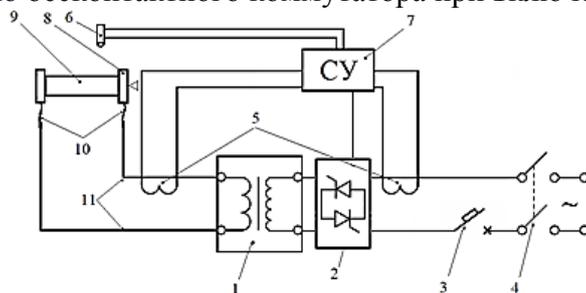
Износ трансформатора. Работа трансформатора в режимах перегрузки ускоряет его износ, что приводит к повышенным эксплуатационным затратам и простоям производства. Опыт эксплуатации трансформаторного оборудования, предназначенного для контактного нагрева заготовок, показывает, что для обеспечения высокой скорости нагрева, через заготовку, следовательно, через обмотки трансформатора необходимо пропускать большие токи, значительно превышающие номинальные значения. Происходит интенсивный нагрев обмоток трансформатора, что негативно сказывается на скорости старения изоляции и сроке службы дорогостоящего оборудования. Для выбора приемлемого по уровню нагрева режима работы трансформатора для конкретной заготовки необходимы дополнительные исследования температурного поля обмоток трансформатора. Результаты моделирования температурного поля позволят дать рекомендации по допустимой величине протекающего через обмотки тока и по допустимому времени действия этого тока. Кроме этого, на основе полученной модели температурного поля, целесообразно создать цифровой двойник трансформаторного оборудования в технологической цепочке термообработки материала заготовки перед операцией штамповки. Это позволит спрогнозировать допустимый режим работы трансформатора, уровень нагрева его обмоток, скорость старения изоляции и дать рекомендации по выбору напряжения и мощности при нагреве заготовки определенного размера из заданного материала.

Регулирование. При контактном способе скорость нагрева заготовок зависит от величины протекающего через заготовку электрического тока и от интенсивности теплообмена с окружающей средой. Величина протекающего тока зависит от размеров заготовки, от материала и от величины подаваемого напряжения. Металлическая заготовка включается в цепь вторичной обмотки трансформатора, следовательно, ее электрическое сопротивление определяет величину протекающего тока. С другой стороны, величина тока определяет время нагрева заготовки, которое, как правило, ограничивается технологическими особенностями обработки, физическими и химическими преобразованиями в структуре нагреваемого металла или сплава, проявляющиеся при высоких температурах. Обеспечить нужную интенсивность и время нагрева позволяет регулирование величины электрического тока, протекающего через заготовку за счет изменения прокладываемого напряжения. При использовании трансформатора изменять

напряжение можно ступенчато. Обычно это осуществляют путем различных схем включения обмоток трансформатора. Но так как по обмоткам протекают достаточно большие токи, то частое изменение схемы подключения обмоток трансформатора сталкивается с определенными трудностями, связанными с обеспечением надежного контактного сопротивления в местах соединения. Поэтому, описанный способ не является эффективным при частой смене номенклатуры нагреваемых изделий. Наиболее перспективными являются способы, связанные с регулированием подаваемого на трансформатор напряжения с помощью полупроводниковых преобразователей.

Внешнее влияние на электрические сети. Как правило, при контактном нагреве нашли широкое применение однофазные трансформаторы достаточно большой мощности. Подключение такой энергоемкой нагрузки к двум фазам (на линейное напряжение) трехфазной системы электроснабжения цеха приводит к проблемам, связанным с неравномерной загрузкой фаз. Для устранения перекаса фаз можно так же использовать полупроводниковый преобразователь.

На рисунке 1 представлена электротехническая система нагрева металлических заготовок с тиристорным преобразователем 2. Такой преобразователь в представленной системе выполняет функции регулирования напряжения, подаваемого на первичную обмотку трансформатора 1, обеспечивает защиту при аварийных режимах работы и так же выполняет функцию бесконтактного коммутатора при включении и отключении.



- 1 – трансформатор; 2 – тиристорный регулятор; 3 – автоматический выключатель;  
 4 – выключатель сети (рубильник); 5 – трансформаторы тока; 6 – пирометр;  
 7 – система управления; 8 – контактный аппарат; 9 – нагреваемая заготовка;  
 10 – гибкие токоподводы; 11 – шинопроводы

Рисунок 1 – Электротехническая система нагрева металлических заготовок

Одним из путей устранения несимметрии напряжения при питании однофазной нагрузки от трехфазной сети является использование в качестве тиристорного регулятора трехфазного выпрямителя и однофазного инвертора (рисунок 2). В этом случае при модернизации установки контактного нагрева можно использовать уже установленный однофазный трансформатор.

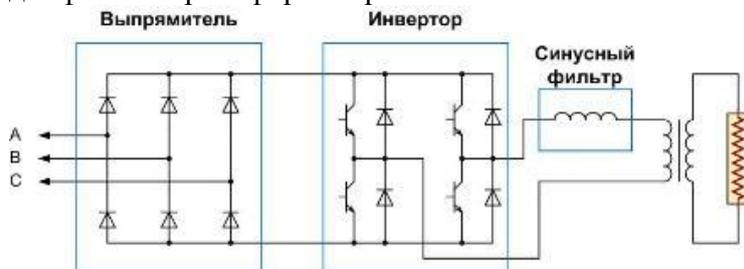


Рисунок 2 – Трехфазный выпрямитель и однофазный инвертор

### Заключение

Таким образом, выявлены основные проблемы, сопутствующие использованию контактного нагрева листовых заготовок для дальнейшей их штамповки. Описаны возможные направления их устранения.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов, И. И. Электротермические технологии нагрева металлических заготовок / И. И. Иванов – М. : Машиностроение, 2020. – 210 с.
2. Сидоров, С. С. Современные методы управления электротермическими системами / С. С. Сидоров – С-П.: Политехпресс, 2019. – 340 с.
3. Цыкунова, А. А. Электротехническая система нагрева металлических заготовок перед штамповкой / А. А. Цыкунова, А. В. Сериков // Электропривод на транспорте и в промышленности : материалы III Всероссийской научно-практической конференции : посвящается 60-летию кафедры «Электротехника, электроника и электромеханика», Хабаровск, 19–20 октября 2023 года. – Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 62-67. – EDN VFZKRQ.

УДК 621.314.222.6

Иванов Виктор Викторович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ivanov Viktor Viktorovich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Сериков Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Serikov Aleksandr Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of «Electromechanics» Department, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ** **ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY APPLICATION IN FAULT DIAGNOSIS FOR POWER TRANSFORMERS**

Аннотация. В работе представлена технология на базе искусственного интеллекта для диагностики неисправностей трансформаторов. Система искусственного интеллекта состоит из экспертной системы и нейронной сети. Описаны составляющие элементы модульной структуры экспертной системы. Выделены основные условия внедрения представленной системы. Представлены фазы разработки модели нейронной сети.

Abstract. The paper presents an artificial intelligence based technology “artificial intelligence system of transformer fault diagnosis”. The artificial intelligence system consists of an expert system and a neural network. The constituent elements of the modular structure of the expert system are described. The main conditions of implementation of the presented system are highlighted. The phases of neural network model development are presented.

Ключевые слова: диагностика неисправностей силовых трансформаторов, искусственный интеллект.

Key words: power transformer fault diagnosis, artificial intelligence.

### **Введение**

Силовой трансформатор является одним из важных электрических устройств в энергосистеме, поэтому диагностика неисправностей трансформаторов важна для общей надежности электросети. Диагностика неисправностей в основном представляет собой процесс сопоставления шаблона входных и выходных данных с одним или несколькими состояниями неисправностей. Однако очень трудно узнать о неисправности на этапе ее раннего развития. Так, например, применение искусственного интеллекта позволит проводить газовый анализ, являющийся одним из этапов определения неисправностей, в реальном времени [1]. Такой анализ невозможен без применения соответствующей технологии, так как существенным преимуществом искусственного ин-

теллект является его способность обучаться и адаптироваться к статистическому распределению информации и сопоставление основных параметров из входных и выходных данных.

### Основная часть

В работе представлена экспертная система и нейронная сеть для диагностики неисправностей трансформаторов. Экспертная система представляет собой общую схему работы предлагаемой технологии и имеет модульную структуру, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Модульная структура экспертной системы

1) Модуль координатора – этот модуль управляет и координирует работу других модулей.

2) Модуль анализа газовой хроматографии – этот модуль, основанный на данных хроматографического анализа растворенных газов в масле. Он различает, является ли трансформатор «нормальным», «нормально стареющим», «с возникновением разряда» (включая частичный разряд, искровой разряд, дуговой разряд) или «имеет повышенную температуру» для этого блок необходимо проанализировать концентрацию газов:  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $CO$  и  $CO_2$  [2, 3].

3) Модуль внешнего осмотра – с помощью своей функции анализа этот модуль может определить, есть ли такие внешние дефекты как шум, уровень масла, температуру масла во время его работы.

4) Модуль тестирования характеристик масла – этот модуль используется для анализа текущих характеристик изоляционного масла. Элементы анализа: кислотное число масла (вызывающее коррозию конструкционных элементов), сопротивление, содержание воды, поверхностное натяжение, тангенс угла диэлектрических потерь  $tg \delta$ , пробивное напряжение масла. На основе анализа этих показателей трансформаторное масло можно отнести к одной из трех категорий: «хорошее», «предупреждение», «плохое».

5) Модуль испытания изоляции – этот модуль используется для анализа результатов профилактических испытаний изоляции. Он позволяет оценить текущее состояние изоляции трансформатора, сравнивая измеренные показания сопротивлений изоляции, токов утечки и диэлектрических потерь  $tg \delta$  обмоток трансформатора.

6) Модуль комплексного анализа – согласно анализу газовой хроматографии, внешнему осмотру, тесту характеристик масла и тесту изоляционной защиты, этот модуль всесторонне анализирует условия эксплуатации трансформатора и выносит окончательное решение.

Помимо вида дефекта, этот модуль также дает рекомендации для обслуживающего персонала, такие как «продолжить работу трансформатора», «остановить работу трансформатора, провести необходимые испытания и внутренние осмотры». Эти рекомендации основаны на скорости появления аномальных газов, истории эксплуатации и состоянии обслуживания трансформатора (сохраненные данные), а также на текущем состоянии системы электроснабжения (данные в реальном времени).

Для определения интенсивности износа элементов трансформатора необходимо проводить комплексный анализ данных в каждом модуле в реальном времени. В виду

массивного объема анализируемых данных такой подход не представляется возможным без применения технологии искусственного интеллекта, поэтому для работы экспертной системы необходимо предварительно провести разработку модели нейронной сети, которая состоит из двух фаз: обучения и диагностики. На этапе обучения данные газового анализа и состоянии элементов трансформатора берутся из уже известных данных, полученных в результате тестирования аналогичных моделей. Затем наборы данных загружаются в нейронную сеть. На этапе диагностики используются тестовые данные различных трансформаторов для расчета фактического выхода искусственной нейронной сети. Эти значения сравниваются с желаемым результатом. Нейронная сеть имеет модульную структуру, при этом все модули независимы, как показано на рисунке 2.



Рисунок 2 – Структура нейронной сети

Структура состоит из пяти модулей: метод характеристики газа (M1), модуль пропорций (M2), модуль тестирования характеристик изоляционного масла (M3), модуль внешнего осмотра (M4) и модуль комплексного анализа (M5). Модуль метода характеристики газа M1 основан на данных хроматографического анализа растворенных газов в масле. Для этого модуля использовалась нейронная сеть, как показано на рисунке 3.

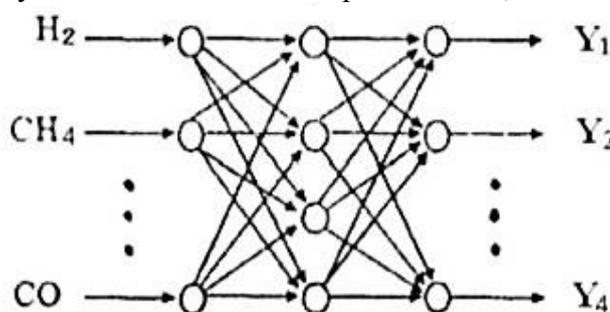


Рисунок 3 – Диаграмма применения нейронной сети в модуле M1

Входные данные в ней состоят из шести элементов:  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $CO$ . На выходе принята сеть с четырьмя узлами состояний ( $Y_1 \sim Y_4$ ): нормально, перегрев, появлении коронного разряда и появление электрической дуги.

В модуле пропорций M2 есть три входных узла ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ) содержащих три значения соотношений:  $C_2H_2/C_2H_4$ ,  $CH_4/H_2$ ,  $C_2H_4/C_2H_6$  и девять выходных узлов ( $Y_1 \sim Y_9$ ) с одним узлом, показывающим нормальное соотношение пропорций и восемью узлами состояния неисправности.

В модуле тестирования характеристик изоляционного масла M3 есть шесть входных узлов, соответствующих характеристикам трансформаторного масла ( $X_1 \sim X_6$ ): кислотность, сопротивление, содержание воды, поверхностное натяжение, диэлектрические потери  $tg \delta$  и напряжение пробоя и 3 выходных узла показывающих его состояние ( $Y_1 \sim Y_3$ ): хорошее, с предупреждением, плохое.

Модуль внешнего осмотра M4 позволяет определить, есть ли внешние или внутренние недостатки, такие как шум, уровень масла, температура масла ( $X_1 \sim X_3$ ).

После сбора всех входных данных приводится их анализ относительно каждого представленного модуля и отправляется в модуль комплексного анализа. В модуле

комплексного анализа система всесторонне анализирует условия эксплуатации трансформатора и формирует окончательное заключение о состоянии трансформатора в целом и его возможных неисправностях.

### **Заключение**

Предложена система диагностики на основе искусственного интеллекта для диагностики неисправностей трансформаторов. В работе описано, почему система искусственного интеллекта является очень полезным инструментом для раннего выявления неисправностей трансформаторов. Представленная технология способна проводить раннюю диагностику внутренних, скрытых неисправностей трансформатора и давать консультативные предложения обслуживающему персоналу.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. М.: ЭНАС, 2002.
2. Физико-химические методы в практике оценки состояния силовых трансформаторов в условиях эксплуатации : Учеб.- метод. пособие / М. Ю. Львов, П. П. Кутлер; Ин-т упр. в энергетике Гос. ун-та упр. [и др.]. - Москва, 2003. - 19 с.
3. Новиков В. Ф. Тонкослойная хроматография фурановых соединений в трансформаторном масле: учебное пособие / В. Ф. Новиков, А. В. Танеева. – Казань : КГЭУ, 2020. – 85 с.

УДК 681.518.5

Калашников Данил Сергеевич, аспирант, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ

Kalashnikov Danil Sergeyevich, postgraduate student, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI

### **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ APPLICATION OF NEURAL NETWORKS AND MATHEMATICAL TRANSFORMS FOR EFFECTIVE PROCESSING OF VIBRATION SIGNALS**

Аннотация. В данной работе исследуется методика предварительной обработки вибрационных сигналов с использованием комбинированного подхода, включающего математические преобразования и нейросетевые модели для дальнейшего анализа. Была предложена структурная схема предлагаемого метода, а также рассмотрены преимущества комбинированного подхода к обработке вибрационных сигналов.

Abstract. This paper investigates a method for preprocessing vibration signals using a combined approach that includes mathematical transformations and neural network models for further analysis. A structural diagram of the proposed method is presented, and the advantages of the combined approach to vibration signal processing are discussed.

Ключевые слова: вибрационная диагностика, вейвлет-преобразования, нейросеть.

Key words: vibration diagnostics, wavelet transform, neural network.

### **Введение**

Вибрационные сигналы играют ключевую роль в диагностике состояния промышленного оборудования, особенно в таких отраслях, как энергетика, машиностроение и транспорт. Точные и своевременные методы их обработки могут существенно повысить эффективность технического обслуживания и снизить риск возникновения аварийных ситуаций. Однако, традиционные методы обработки имеют свои ограничения, особенно в сложных и шумных условиях эксплуатации. Основной целью данной

работы является разработка гибридной модели, сочетающей нейросетевые алгоритмы и математические методы, для эффективной обработки вибрационных сигналов с целью повышения точности диагностики и предсказания отказов оборудования. В последние годы наблюдается рост интереса к использованию искусственного интеллекта, в частности нейросетевых моделей, для анализа вибрационных сигналов. Тем не менее, сочетание этих методов с традиционными математическими подходами, такими как фильтрация и преобразования, остаётся недостаточно исследованным. Существующие работы часто фокусируются на одном из подходов, в то время как их комбинация может существенно улучшить результаты диагностики.

### **Основная часть**

Основная проблема применения математических методов для обработки вибрационных сигналов заключается в их ограниченной способности учитывать сложные и нелинейные зависимости, характерные для реальных эксплуатационных условий. Традиционные подходы, такие как спектральный анализ или преобразования Фурье, эффективно выявляют основные частотные компоненты сигналов, но им проблематично полноценно анализировать динамическое поведение системы, особенно при наличии шумов или изменяющихся внешних факторов. В таких случаях нейросетевые модели, обладая высокой гибкостью и способностью адаптироваться к сложным данным, могут эффективно компенсировать эти ограничения, обучаясь на большом объеме информации и выявляя скрытые закономерности, которые традиционные методы не могут обнаружить. Однако, одной из основных ограничений нейросетей является потребность в качественной подготовке данных и их достаточном объеме для обучения модели. В реальных условиях вибрационные сигналы часто подвержены шумам и могут содержать множество неструктурированных и случайных факторов, что может затруднить обучение нейросети и привести к ухудшению её производительности [1,2,3]. Математические методы, такие как фильтрация и преобразования, могут эффективно справляться с этим, очищая сигнал от шумов и выделяя ключевые признаки, которые будут служить лучшей основой для нейросетевого анализа. Таким образом, комбинированное использование математических методов для предварительной обработки данных и нейросетевых алгоритмов для дальнейшего анализа позволяет преодолеть ограничения нейросетей, повышая точность и стабильность диагностики [4,5].

Среди множества методов, таких как преобразование Фурье, вейвлет-анализ и спектральный анализ, наиболее подходящим для решения задач, связанных с вибрационными сигналами, является вейвлет-преобразование. Этот метод позволяет эффективно выделять характеристики сигналов в различных временных интервалах и частотных диапазонах, что особенно важно для анализа сигналов с переменной частотой и амплитудой. Вейвлет-анализ обладает преимуществом перед традиционными методами, такими как преобразование Фурье, тем, что обеспечивает локализацию сигналов по времени и частоте, что делает его более устойчивым к шумам и изменениям в условиях эксплуатации. Этот подход был выбран как основной для предварительной обработки вибрационных данных. Далее, проанализировав существующие нейросетевые методы для обработки вибрационных сигналов, был выбран наиболее эффективный подход, обеспечивающий высокую точность и способность к обобщению. Среди множества нейросетевых моделей, таких как полносвязные сети, свёрточные нейросети (CNN) и рекуррентные нейросети (RNN), для решения задач вибрационной диагностики наиболее подходящими оказались свёрточные нейросети. Эти модели обладают выдающимися способностями к обработке сложных и многомерных данных, а также могут эффективно выявлять пространственные и временные закономерности в вибрационных сигналах. Свёрточные нейросети, в отличие от других моделей, позволяют автоматически извлекать признаки из сырых данных, что значительно упрощает процесс подготовки и оптимизации. Кроме того, их способность к обучению на больших объемах данных делает их особо эффективными при анализе вибрационных сигналов, подверженных шу-

мам и вариативности. Поэтому для дальнейшего анализа вибрационных сигналов выбрана именно эта архитектура нейросети (рисунок 1).



Рисунок 1 – Предлагаемая структурная схема алгоритма для анализа вибрационных сигналов

Принцип работы предлагаемой системы обработки вибрационных сигналов основывается на комбинированном подходе, который включает два этапа: предварительную обработку данных с помощью математических методов и их последующий анализ с использованием нейросетевых алгоритмов. Каждый этап выполняет свою функцию, обеспечивая более точную и эффективную диагностику.

На двух первоначальных начальных этапах сигналы, поступающие с вибрационных датчиков, сначала проходят через блок фильтрации. Это необходимо для устранения шумов и искажений, которые могут возникать в процессе измерений из-за внешних факторов, таких как механические вибрации, электрические помехи и прочее. В качестве метода фильтрации используется вейвлет-преобразование, которое позволяет локализовать и выделять важные частотные компоненты сигнала. Вейвлет-анализ делит сигнал на несколько уровней, позволяя анализировать его как в частотной, так и во временной области, что значительно улучшает точность выделения признаков, таких как резкие изменения амплитуды, которые могут указывать на неисправности. После того как сигнал очищен от шума и преобразован в более удобную для анализа форму, извлекаются признаки. Это происходит с помощью методов выделения ключевых характеристик, таких как пиковые значения амплитуд, частотные компоненты и их соотношение. Признаки могут быть представлены в виде векторов или матриц, что позволяет компактно передать всю необходимую информацию о сигнале в следующий этап системы – нейросетевой анализ. Далее обработанные данные подаются на вход свёрточной нейросети (CNN). В данном случае, после предварительной обработки, признаки вибрационного сигнала преобразуются в формат, который удобен для работы нейросети (например, матрицы с характеристиками частот и амплитуд). В последних двух блоках система оценивает состояние и выдает результат: нормальное или аномальное состояние. В случае обнаружения аномалии система может сигнализировать об этом оператору или автоматически инициировать меры по предотвращению отказа оборудования.

Таким образом, система реализует последовательное использование математических методов для фильтрации и выделения признаков и нейросетевых алгоритмов для анализа, что позволяет значительно повысить точность диагностики вибрационных сигналов.

При применении вейвлет-преобразования для фильтрации сигнала применяется математическая операция свёртки с волновыми функциями, которая позволяет эффективно изолировать определённые частотные компоненты в сигнале:

$$W(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \varphi(t - \tau) dt \quad (1)$$

Где  $W(x)$  – результат вейвлет-преобразования сигнала;  $x(t)$  – исходный сигнал;  $\varphi(t)$  – волновая функция, используемая для фильтрации частот;  $\tau$  – временной сдвиг для каждого масштаба и уровня анализа.

## **Заключение**

В данной работе был предложен эффективный метод обработки вибрационных сигналов, сочетающий математические преобразования и нейросетевые алгоритмы для улучшения точности диагностики. Разработанная структурная схема метода включает этапы предварительной обработки сигнала с использованием вейвлет-преобразований для выделения ключевых признаков, которые затем анализируются с помощью нейросетевых моделей.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Контроль состояния технологического оборудования в производственных условиях на основе вибродиагностики / Ф.С. Сабилов, М.П. Козочкин, В.В. Молодцов, М.М. Яхутлов // Наука сегодня: достижения, проблемы и перспективы. – 2017. – С. 20-22. – EDN FYNLYS.
2. Горбачев А.В., Щелканов А.И. Вибродиагностика подшипниковых узлов датчиками на основе MEMS-акселерометров / А.В. Горбачев, А.И. Щелканов // Актуальные проблемы современной науки. – 2016. – С. 82-85. – EDN WZDCAR.
3. Дергачев К.А. Вибродиагностика промышленного оборудования при помощи искусственного интеллекта / К.А. Дергачев // Наука и образование: проблемы, идеи, инновации. – 2018. – С. 43-44. – EDN XTLWZF.
4. Шиндор О.В. Исследование диагностических возможностей вейвлет-преобразования для анализа электрических флуктуаций водородного топливного элемента / О.В. Шиндор, Е.С. Денисов, Ю.К. Евдокимов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2013. – № 4. – С. 120-124. – EDN SMXEJD.
5. Контроль и прогнозирование критических режимов работы водородных топливных элементов в процессе эксплуатации на основе искусственных нейронных сетей / Е. С. Денисов, Н. Р. Гайсин, Т. П. Никишин, Н. А. Адьютантов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 12. – С. 11-16. – EDN ZWNFWW.

УДК 621.31

Козлов Илья Игоревич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Kozlov Ilya Igorevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University  
Любушкина Надежда Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Liubushkina Nadezhda Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Electronics and Innovative Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR HIGH-VOLTAGE ELECTRICAL CONNECTIONS**

Аннотация. В данной статье рассмотрена разработка системы контроля температуры высоковольтных электрических соединений, направленной на обеспечение безопасной и надежной эксплуатации электрических установок. В работе акцентируется внимание на ключевых элементах системы, таких как датчики температуры, беспроводные модули и концентраторы данных, а также на программных алгоритмах для анализа температуры и скорости ее изменения. Предложенная система предназначена для обнаружения перегрева и предотвращения аварийных ситуаций, она позволит оперативно реагировать на изменения температурных режимов. Использование доступного оборудования и

открытого программного обеспечения для визуализации и анализа данных делает систему экономически выгодной и удобной для применения в промышленных и энергетических объектах.

Abstract. This article discusses the development of a temperature control system for high-voltage electrical connections aimed at ensuring safe and reliable operation of electrical installations. The work focuses on key elements of the system, such as temperature sensors, wireless modules and data concentrators, as well as software algorithms for analyzing temperature and its rate of change. The proposed system is designed to detect overheating and prevent emergencies, it will allow you to quickly respond to changes in temperature conditions. The use of available hardware and open source software for data visualization and analysis makes the system cost-effective and convenient for use in industrial and energy facilities.

Ключевые слова: система контроля, датчики температуры, открытое программное обеспечение.

Keywords: control system, temperature sensors, open source software.

### **Введение**

Высоковольтные электрические соединения играют ключевую роль в передаче электроэнергии на большие расстояния. Однако их работа сопряжена с рисками перегрева, что может привести к разрушению изоляции, коротким замыканиям и выходу из строя оборудования. Такие аварии могут вызвать длительные простои в работе электрических сетей и значительные финансовые потери. Поэтому важной задачей является контроль температуры высоковольтных соединений. Современные технологии позволяют интегрировать датчики для мониторинга температуры, защитные системы от перегрева и модули передачи данных, обеспечивая надёжный контроль в реальном времени. Для создания более экономичной системы контроля температуры высоковольтных соединений можно предложить проект, использующий доступные компоненты и упрощенные принципы работы, сохраняя при этом ключевые функции контроля и мониторинга. Основное отличие состоит в использовании более доступных датчиков, а также недорогих микроконтроллеров и открытых программных платформ для сбора, обработки и передачи данных. Это решение позволит снизить расходы на оборудование и обслуживание.

### **Основная часть**

Ближайшим аналогом разрабатываемого устройства можно считать продукт компании ООО «ПАРМА». Система контроля температуры контактных соединений разработана для цепей постоянного и переменного тока, в системе используются исключительно беспроводные технологии. Для полного анализа применены интеллектуальные технологии для силовых электроустановок с напряжениями 0,4 – 35 кВ. Данная система проектируется и внедряется по требованию заказчика и может быть использована в любой сфере деятельности человека, что является преимуществом. На контактные высоковольтные соединения распределительных электрических сетей устанавливаются радиодатчики температуры, которые по беспроводному каналу передают информацию о состоянии соединения на анализатор и далее на сигнализацию, локальное отображение. Рассмотренная система температурного контроля имеет существенные недостатки – сложность проводного подключения, ограниченные возможности встроенных микроконтроллеров и, самое главное - высокую стоимость отдельных модулей. Система избыточна по функциям и поэтому не всегда оправдана по функционалу.

С другой стороны, подобную задачу можно решить с помощью менее дорогого устройства, собранного на базе контроллера ATmega328 и совместимого с ним датчиками, например, DS18B20. Такой подход позволяет снизить затраты на компоненты, добавит гибкость в питании. Для упрощения передачи данных существует возможность интегрировать беспроводные модули, оптимизировать энергопотребление с помощью

встроенных функций энергосбережения. Все это позволит сделать систему более универсальной и экономичной.

Предлагаемое устройство будет сочетать в себе два вида датчиков для измерения температуры: инфракрасного (ИК) и термопар. Данное сочетание позволит достичь высокой точности и оперативности измерений. ИК-датчики обеспечивают бесконтактное измерение температуры, идеально подходящее для контроля основных, движущихся и труднодоступных объектов, в то время как термопары обеспечивают точное и стабильное измерение в зонах непосредственного контакта. Внедрение этих двух типов датчиков позволяет снизить затраты на дорогостоящие специализированные устройства, так как каждый датчик можно использовать в оптимальных условиях. Структурная схема системы приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема системы

Инфракрасные датчики, такие как пирометры, играют важную роль в алгоритмах контроля температуры. Эти устройства измеряют температуру без физического контакта с объектом, это позволяет оперативно и точно выявлять перегрев. Алгоритмы обработки данных с инфракрасных датчиков могут автоматически активировать сигнализацию или другие меры безопасности при превышении заданных температурных порогов.

Цифровой температурный датчик DS18B20 с интерфейсом 1-Wire имеет программируемое разрешение от 9 до 12 бит, что позволяет подключать множество датчиков к одному проводу, распределенных по большому участку. Каждый датчик имеет уникальный последовательный 64-битный идентификатор и встроенный регистр, который хранит значение температуры по окончании температурного преобразования. Датчик работает при напряжении питания от 3,0 до 5,5 В, может работать без внешнего питания через подтягивающий резистор. От сигнала шины происходит зарядка внутреннего конденсатора, он питает датчик при низком уровне сигнала на шине. Измеряемый температурный диапазон от -55 до +100 °С, в диапазоне от -10 до +85 °С точность измерения 0,5 °С. При необходимости можно расширить диапазон температур до +125 °С, при этом необходимо использовать внешнее питание. Время измерения температуры не более 750 мс, что обеспечивает высокую скорость. Он также включает функцию сигнализации, которая уведомляет о температуре отключения по заданным измерениям.

Подключение цифрового датчика температуры DS18B20 к микроконтроллеру ATmega328 не представляет больших временных затрат, в некоторых конфигурациях датчик укомплектован подтягивающим резистором (рисунок 2). Для подключения датчика DS18B20 к микроконтроллеру ATmega328 необходимо подключить три контакта: первый – GND, второй – с цифровым контактом платы (например, контакт 2), третий – с разъемом питания.

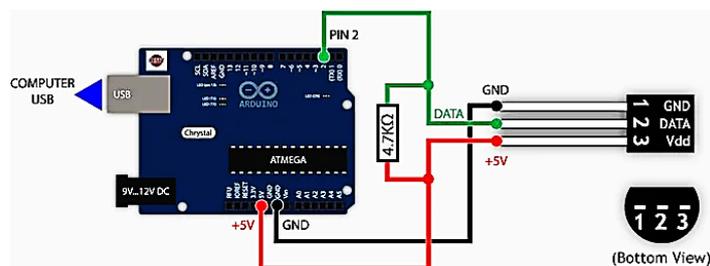


Рисунок 2 – Схема подключения

В системе контроля температуры модуль Wi-Fi используется для передачи данных о температуре и состоянии соединений на удаленное устройство сбора информации. Чип ESP32 интегрирован в модуль SIP с полным набором функций Wi-Fi и Bluetooth. Это позволяет интегрировать систему в локальные сети или системы автоматизации (например, SCADA), обеспечить удаленный доступ к показателям, анализу данных и управлению устройством. Для управления системой необходимы кнопки включения, отключения и сброса системы, для перезапуска устройства или восстановления настроек, выбора параметров или подтверждения введенных данных.

### Заключение

В заключение, разработанная система контроля температуры высоковольтных электрических соединений с использованием таких компонентов, как датчики DS18B20 и микроконтроллеры ATmega328, представляет собой экономичное и эффективное решение для измерения температуры в мгновение ока. Благодаря гибкости подключения, возможности подключения беспроводных технологий и использованию открытых источников питания, система обеспечивает надежную защиту от перегрева, повышает безопасность эксплуатации и снижает затраты на оборудование и обслуживание. Это решение идеально подходит для применения в промышленности и на объектах, требующих высокого контроля температуры.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кушнер, Д. А. Основы промышленной электроники : учебное пособие / Д. А. Кушнер. – Минск : РИПО, 2020. - 268 с.
2. Марченко, А. Л. Электротехника и электроника: Учебник. В 2 томах. Том 1: Электротехника / А.Л. Марченко, Ю.Ф. Опачий - Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 574 с.
3. Власов, А. Б. Электроника. Аналоговые элементы и узлы электронной аппаратуры : учебное пособие / А. Б. Власов. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. - 264 с.
4. Микаева, С. А. Электроника и схемотехника : учебное пособие / С. А. Микаева, А. Н. Брысин, Ю. А. Журавлева. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. - 184 с.

УДК 629.05

Кольцов Вячеслав Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Koltsov Vyacheslav Sergeyevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Копытов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kopytov Sergey Mikhailovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

### СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ТОЧКАМИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ НАВИГАЦИИ COMPARISON OF OPTIONS FOR DETERMINING DISTANCES BETWEEN POINTS ON THE EARTH'S SURFACE FOR USE IN NAVIGATION

Аннотация. Целью работы является сравнительная оценка вариантов определения кратчайшего расстояния между точками на поверхности Земли по их географическим

координатам. Нахождение кратчайшего расстояния актуально при осуществлении воздушной и морской навигации. Выполнен обзор формул, используемых для расчета расстояния. На основе этих формул разработаны программы нахождения расстояний на языке LabVIEW, допускающие их выполнение как на стационарном компьютере, так и на управляющем контроллере движущегося объекта. В качестве контроллера использован микрокомпьютер Raspberry Pi. Выполнены тестовые расчеты по формулам, проанализированы области их применения.

Abstract. The purpose of the work is to compare the options for determining the shortest distance between points on the Earth's surface by their geographic coordinates. Finding the shortest distance is relevant for air and sea navigation. A review of formulas used for distance calculation is performed. On the basis of these formulas, programs for finding distances in LabVIEW language are developed, allowing their execution both on a stationary computer and on a moving object controller. Raspberry Pi microcomputer was used as a controller. Test calculations using the formulas were performed and their application areas were analyzed.

Ключевые слова: географические координаты, земной шар, кратчайшее расстояние, LabVIEW.

Key words: geographic coordinates, globe, shortest distance, LabVIEW.

### Введение

Задача определения кратчайшего расстояния между двумя точками земной поверхности с заданными географическими координатами особенно актуальна в навигации [1]. Ее решение позволяет выбрать необходимое направление движения, сэкономить затраты на источник энергии, минимизировать время в пути. В случае ограниченной по размерам поверхности, которую можно рассматривать как плоскость, эта задача решается тривиально. Однако в общем случае такое допущение использовать нельзя, поскольку Земля имеет сферическую форму, а точнее форму эллипсоида. В этом случае расчетные выражения существенно усложняются. Вычисление расстояний необходимо как на этапе трассировки траектории на стационарном компьютере, так и на этапе движения в контроллере самого объекта.

Целью работы является обзор и сравнительная оценка используемых на практике вариантов определения кратчайшего расстояния между точками на поверхности Земли по их географическим координатам. Также необходимо разработать программы вычисления кратчайшего расстояния между точками в графической среде LabVIEW, пригодные для использования в персональном компьютере и в контроллере подвижного объекта на базе микрокомпьютера Raspberry Pi.

### Основная часть

На сферических объектах кратчайшие траектории между точками лежат на окружности большого круга. Известно, что через две любые две точки на поверхности сферы, если только они не расположены симметрично относительно ее центра (антиподы), можно провести только один большой круг, который также проходит через центр сферы. Эти точки разделяют окружность большого круга на две дуги. Кратчайшее расстояние между точками равно длине малой дуги. В случае точек антиподов расстояние между ними равно  $\pi R$ , где  $R$  – радиус сферы. Если траекторию кратчайшего расстояния построить на географической карте, то она будет выглядеть не в виде прямой линии, а в виде дуги.

Обычно земной шар моделируют сферой с радиусом  $R = 6372,8$  км.

В статье [2] предлагается приближенная формула для расчета прямой дистанции  $d$  до объекта в метрах:

$$d = \sqrt{((\varphi_2 - \varphi_1) \cdot 111134,86)^2 + \left(\Delta\lambda \cdot 111321,38 \cdot \cos\left(\frac{\varphi_2 + \varphi_1}{2}\right)\right)^2}, \quad (1)$$

где  $\varphi_1, \lambda_1$  – широта и долгота первой точки в градусах,  $\varphi_2, \lambda_2$  – широта и долгота второй точки в градусах,  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$  – разность долгот точек.

Отметим, что предложенная формула имеет определенные недостатки, что будет показано ниже. В источнике [3] расчеты для относительно больших расстояний рекомендуют проводить, используя так называемую сферическую теорему косинусов, чтобы избежать ошибок, связанных с округлением. Расстояние вычисляют с помощью следующего выражения:

$$d = r \cdot \arccos\{\sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos(\Delta\lambda)\} \quad (2)$$

Универсальное применение нашло следующее выражения для расчета расстояния:

$$d = 2r \cdot \arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right) + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)}\right) \quad (3)$$

Это выражение используют, в том числе, в онлайн расчетах расстояний между двумя точками Земли с заданными координатами [4]. В источнике [3] утверждается, что данная формула позволяет достоверно находить как большие, так и небольшие расстояния, но подвержена проблеме точек антиподов.

Для решения проблемы антиподов используется модификация предыдущего выражения в виде [3]:

$$d = r \cdot \arctan\left\{\frac{\sqrt{[\cos \varphi_2 \cdot \sin(\Delta\lambda)]^2 + [\cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos(\Delta\lambda)]^2}}{\sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos(\Delta\lambda)}\right\} \quad (4)$$

Для всех приведенных выражений разработаны варианты программ на языке графического программирования LabVIEW [5], предназначенные как для выполнения на персональном компьютере, так и для работы в управляющем контроллере мобильного объекта на базе микрокомпьютера Raspberry Pi. Например, блок диаграмма программы для выражения (4) имеет вид, представленный на рисунке 1.

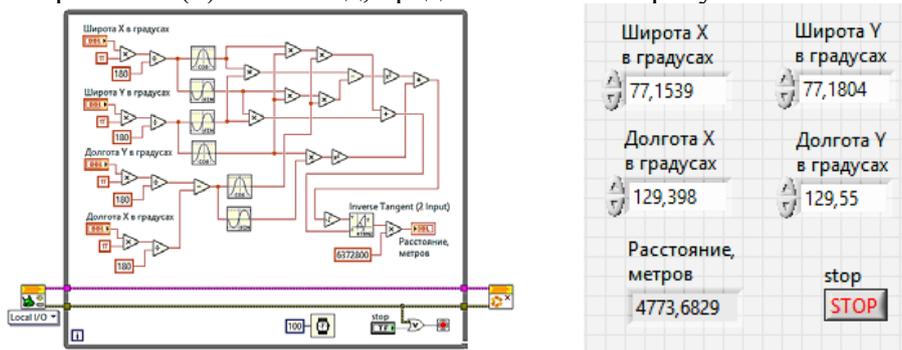


Рисунок 1 – Блок-диаграмма программы вычисления расстояния и вид ее лицевой панели

Особенность применения управляющего контроллера заключается в том, что он управляет движением объекта, определяет текущие координаты, рассчитывает траекторию и при необходимости ее корректирует.

Результаты расчетов расстояний между близкорасположенными и удаленными точками по формулам (1) – (4) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов расстояний между различными точками

№	Координаты точки 1	Координаты точки 2	Расстояние, км			
			по формуле (1)	по формуле (2)	по формуле (3)	по формуле (4)
1	$\varphi_1 = 77,1539$ $\lambda_1 = -139,398$	$\varphi_2 = -77,1804$ $\lambda_2 = -139,55$	17151,929	17166,042	17166,042	17166,042
2	$\varphi_1 = 77,1539$ $\lambda_1 = 129,398$	$\varphi_2 = 77,1804$ $\lambda_2 = 129,55$	4,774	4,774	4,774	4,774
3	$\varphi_1 = 77,1539$ $\lambda_1 = -120,398$	$\varphi_2 = 77,1804$ $\lambda_2 = 129,55$	6180,044	2332,670	2332,670	2332,670
4	$\varphi_1 = 77,15$ $\lambda_1 = 129,4$	$\varphi_2 = 77,152$ $\lambda_2 = 129,42$	0,543	0,542	0,542	0,542

Сравнение результатов расчета расстояния по использованным формулам показывает, что приближенная формула (1) выдает недопустимый промах в случае пересечения нулевого меридиана (значение 6180 км). В остальных случаях расхождение в расчетах не превышает десятых долей процента, что можно считать вполне допустимым. Расчетные значения совпадают с результатами, вычисляемыми онлайн-ресурсами, например, на сайте [4] при тех же исходных значениях. Однако стоит заметить, что расчеты производились на достаточно мощных вычислительных устройствах, обеспечивающих высокую разрядность вычислений тригонометрических функций. В случае использования менее мощных контроллеров, предпочтительнее использовать выражение (3).

### **Заключение**

Таким образом, в работе проведено сравнение выражений, позволяющих находить расстояние между двумя произвольными точками на земной поверхности, заданными географическими координатами. На основе соответствующих выражений разработаны и протестированы программы на языке LabVIEW для выполнения на стационарном компьютере и в управляющем контроллере на базе микрокомпьютера Raspberry Pi совершающего перемещение объекта. Приведены результаты тестовых расчетов, которые совпадают со значениями расчетов на соответствующих онлайн ресурсах.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Дмитриев, В.И. Навигация и лоция, навигационная гидрометеорология, электронная картография / В.И. Дмитриев, Л.С. Рассукованый. – М. : Моркнига, 2018. – 312 с.
2. Гайский, П.В. Использование GPS модулей arduino для навигационного контроля и мониторинга // Системы контроля окружающей среды. – 2020. – Вып. 3(41) . – С. 96-105. DOI: 10.33075/2220-5861-2020-3-96-105.
3. Дубинин, М. Вычисление расстояния и начального азимута между двумя точками на сфере [Электронный ресурс]. – URL: <https://gis-lab.info/qa/great-circles.html> (дата обращения: 05.11.2024).
4. Определение расстояния между двумя географическими координатами [Электронный ресурс]. – URL: <https://adresseextractor.ru/Coordinate> (дата обращения: 05.11.2024).
5. Крутских, В.В. Моделирование в LabVIEW : учебное пособие для вузов / В.В. Крутских. – М. : Издательство Юрайт, 2024. – 171 с.

УДК 620.91

Кряжев Александр Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Alexander A. Kryazhev, student, Komsomolsk-na-Amur State University

Кузьмин Роман Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика, государственный университет, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Roman V. Kuzmin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electromechanics, State University, Komsomolsk-na-Amur State University

### **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РЕМОНТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО УЧАСТКА DEVELOPMENT OF A POWER SUPPLY SYSTEM FOR A REPAIR AND MAINTENANCE SITE**

Аннотация. В рамках нашего проекта, мы произвели расчет кабельной продукции, защитного оборудования, электротехнических шин и силовых панелей. При этом мы учитывали предварительные расчеты токов короткого замыкания и анализ подходящих

выключателей, чтобы обеспечить безопасность системы. Оценивается эффективность установки альтернативных источников энергии.

Abstract. As part of our project, we selected cable products, protective equipment, electrical buses and power panels. In doing so, we took into account preliminary calculations of short-circuit currents and an analysis of suitable switches to ensure the safety of the system. The efficiency of installing alternative energy sources is assessed.

Ключевые слова: Системы электроснабжения, промышленные электросети, расчет электрических нагрузок, выбор электрооборудования, надежность электроснабжения, качество электроэнергии, оптимизация электросетей, силовые трансформаторы, электроприемники, сечение кабелей, автоматические выключатели, ремонтно-эксплуатационный участок.

Key words: Power supply systems, industrial power grids, calculation of electrical loads, choice of electrical equipment, reliability of power supply, quality of electricity, optimization of power grids, power transformers, electric receivers, cable cross section, circuit breakers, repair and maintenance site.

### **Введение**

Основная задача систем электроснабжения на производственных площадках заключается в обеспечении промышленности достаточным количеством электроэнергии. Важнейшими компонентами, требующими электроэнергии, являются электрические двигатели, которые используются в различных устройствах, а также электропечи, устройства для электролиза, сварочные агрегаты, системы освещения и другие критически важные элементы.

Определяющими факторами при проектировании электроснабжения должны быть характеристики источников питания и потребителей электроэнергии, в первую очередь, требования бесперебойности с учётом возможности обеспечения резервирования в технологической части проекта, требования электробезопасности. Источники питания должны быть максимально приближены к потребителям электрической энергии.

### **Основная часть**

В современном мире, где более 80% электроэнергии используется для устройств с рабочим напряжением до 1000 В, разработка высокоэффективных систем электроснабжения становится всё более актуальной. Это связано с постоянно растущим потреблением качественной электроэнергии[1].

Неэффективность и потери в линиях электропередачи не только приводят к увеличению расхода электричества, но и могут стать причиной перегрузок в системе.

В свою очередь, перегрузки могут вызывать дополнительные потери напряжения. В результате, разработчики систем электроснабжения сталкиваются с рядом сложных задач, стремясь удовлетворить растущие требования к высокому качеству электроэнергии[2]. При оценке силовых нагрузок крайне важно точно определить уровень электрической нагрузки на различных участках сети. Завышенные оценки могут привести к неоправданно большим затратам на материалы и, как следствие, к увеличению общей стоимости проекта. С другой стороны, заниженные показатели нагрузки создают угрозу для эффективности работы электросети и делают стабильной работу силовых устройств невозможной[3].

Исходя из рассчитанных нагрузок, разработана электрическая схема ремонтно-эксплуатационного участка от трансформаторов до щитов на рисунке 1.

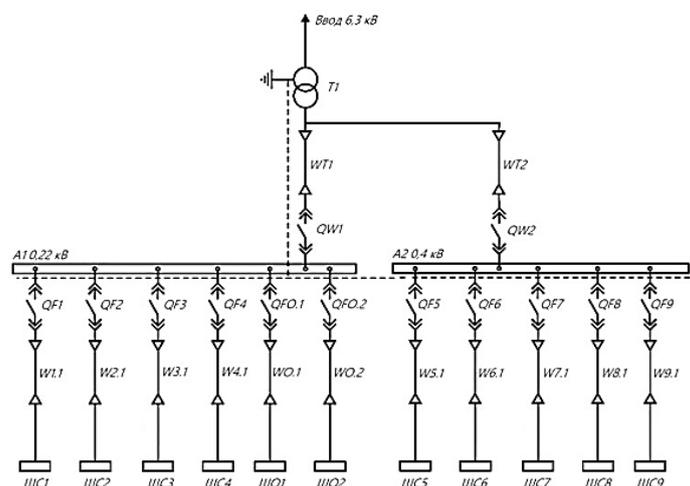


Рисунок 1 – Электрическая схема ремонтно-эксплуатационного участка линий от трансформатора до щитов

- 1) необходимо тщательно спланировать, сколько и каких мощностей силовых трансформаторов следует установить на различных уровнях электросети, обеспечивая их оптимальное размещение;
- 2) критически важно выбрать наиболее подходящие параметры напряжений и структуры электросетей для обеспечения эффективной работы системы.

Решение этих ключевых задач позволит значительно улучшить качество и надежность современных систем электроснабжения.

При этом следует учитывать рост и развитие потребительской базы для прогнозирования будущих нагрузок, а также стремиться к повышению качества предоставляемой электроэнергии. Эти факторы играют ключевую роль в повышении эффективности и надежности систем электроснабжения, подчеркивая важность разработки новых подходов к электроснабжению в современных условиях.

Для питания ЭП проектируемого участка применяем трехфазную и однофазную сеть напряжением 380/220В частоты 50Гц. Питание электрооборудования будет осуществляться от трансформаторной подстанции.

### Заключение

В работе была разработана система электроснабжения ремонтно- эксплуатационного участка.

Для этого было произведено описание ремонтно-эксплуатационного участка, описаны применяемые ЭП и разработана схема расположения ЭП и схема электрических соединений. Рассчитаны электрические нагрузки электроприемников и выбрано оборудование, для функционирования системы электроснабжения ремонтно-эксплуатационного участка. Так же по рассчитанным электрическим нагрузкам было рассчитано требуемое сечение кабелей и выбрана марка кабеля, для защиты оборудования выбраны автоматические выключатели различных марок, соответствующие рассчитанному максимальному току на линии.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 1 Князевский, Б.А. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для вузов / Б.А. Князевский, Б.Ю. Липкин.– М.: Высшая школа, 2019. – 400 с.
- 2 Федоров, А.А. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети / А.А. Федоров, Г.В. Сербиновский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 2020. – 576 с.
- 3 Орлов, И.Н. Электротехнический справочник: в 3-х т. / И.Н. Орлов / Т.2. Электротехнические изделия и устройства – 7-е изд., испр. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2021.– Т.2– 712 с.

УДК 621.38

Кузьмин Евгений Романович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kuzmin Evgeny Romanovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Любушкина Надежда Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Liubushkina Nadezhda Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Electronics and Innovative Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ DEVELOPMENT OF AN ACCESS CONTROL SYSTEM WITH INCREASED RELIABILITY USING FINGERPRINTS**

Аннотация. Самыми надежными системами доступа считаются системы, построенные по принципу биометрического контроля. В статье рассмотрены основные принципы построения подобных устройств, представлены особенности биометрических технологий и идентификаторов. Для построения системы контроля доступа повышенной надежности, предложен нетрадиционный подход – комбинация сканирующих устройств.

Abstract. The most reliable access systems are those based on the principle of biometric control. The article discusses the basic principles of building such devices, presents the features of biometric technologies and identifiers. To build an access control system of increased reliability, a non-traditional approach is proposed – a combination of scanning devices.

Ключевые слова: идентификатор, сканирующий датчик, интерфейсы, хранение информации.

Key words: identifier, scanning sensor, interfaces, information storage.

### **Введение**

Существует множество систем, контролирующих доступ на территорию. В последнее время, в связи с развитием технологий искусственного интеллекта разработка подобных систем стала значительно проще. С другой стороны, системы стали более сложными и более функциональными. Достоинства биометрических идентификаторов, основанных на уникальных биологических, физиологических особенностях человека, однозначно удостоверяющих личность - неоспоримы. К основным биометрическим идентификаторам физиологического типа относят уникальные характеристики, данные человеку при рождении (например, рисунки папиллярных линий пальцев, радужная оболочка глаза, геометрия руки, ДНК). В биометрических идентификаторах используются статические методы. Самым распространенным из статических методов биометрического контроля считается система, работающая по отпечатку пальцев – рисунку папиллярных линий. Система биометрического определения и идентификации состоит из считывающего устройства отпечатков пальцев, контроллера, который получает информацию со считывателя, идентификатора, позволяющего в системе распознать отпечаток пальца, специального программного обеспечения для управления системой.

### **Основная часть**

В процессе эксплуатации подобных систем можно выделить ряд проблем:

– проблема идентификации биометрических данных заключается в сложности сканирования некоторых отпечатков пальцев. При сканировании ошибки возникают из-

за загрязнения датчика, наличия исходного отпечатка вследствие шрама, пореза подушечек пальцев;

– возможность фальсификации. Данная проблема связана с возможностью изготовления муляжа отпечатка пальцев;

– взлом серверов баз данных, где хранится биометрическая информация.

Для защиты от фальсификации можно предусмотреть следующие правила.

Самой главной должна быть защита от муляжа. Система должна распознавать так называемый «живой» палец.

Сканер, используемый для определения отпечатка пальца, дополнительно может определять и некоторые другие характеристики – наличие кровотока в пальце (пульса), наличие влаги (пота), что однозначно говорит о достоверности предоставленного идентификатора.

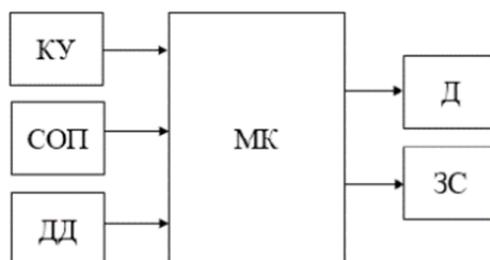
Другим способом защиты считается более интеллектуальное программное обеспечение, не позволяющее выполнять повторные сканирования ранее сохраненного образа. Система должна гарантировать вход и выход по одному отпечатку, а все повторные вхождения считать «попыткой несанкционированного проникновения». Алгоритм работы устройства должен исключать любые вариации мошенничества. Система должна запрашивать последовательность пальцев, должна быть адаптирована к возможности подсказки, предложить, что целесообразно сделать далее: очистить датчик, нажать пальцем сильнее, приложить другой палец.

Оптические сканеры. Технология оптического сканирования предполагает считывание отпечатка пальца при так называемом фотографировании папиллярного узора пальца. Далее происходит сравнение эталона и полученного образа по контрольным точкам.

Емкостный сканер – это система крошечных, тонких пластин-конденсаторов, заряженных до определенного потенциала. Количество данных пластин определяет точность и скорость считывания информации, чем больше количество, тем выше точность. Любой палец имеет свой рельеф – папиллярные линии. Прикосновение пальца к пластинам – сенсорам по-разному меняет электрический потенциал. Плотное прикосновение увеличивает потенциал, отсутствие контакта – его уменьшение. Сканер считывает разницу потенциалов и определяет по контрольным точкам соответствие отпечатка оригиналу.

Ультразвуковые сканеры. Во время прикосновения к датчику сканер отправляет ультразвуковые волны и считывает сигналы – одна часть импульса поглощается, другая возвращается обратно. Данный сканер имеет возможность определять дополнительные характеристики – например, пульс, которые усиливают безопасность и точность распознавания.

Для решения приведенных проблем целесообразно применить оптические сканеры. Данный сканер имеет высокий уровень распознавания, кроме того, существует возможность одновременного сканирования нескольких пальцев, что сокращает время определения и осуществления доступа. Структурная схема разрабатываемого устройства приведена на рисунке 1.



КУ – кнопки управления; СОП – сканер отпечатка пальцев; ДД – датчики движения;  
МК – микроконтроллер; Д – дисплей; ЗС – звуковая сигнализация

Рисунок 1 - Структурная схема разрабатываемого устройства

Кнопки управления подключены к микроконтроллеру с помощью однопроводной схемы, они необходимы для управления системой контроля доступа. В качестве кнопок управления будет применяться пять кнопок: «Настройка», «Выход», «ОК», «Вниз», «Вверх».

Сканер отпечатка пальца подключен к микроконтроллеру с помощью высокочастотного интерфейса и необходим для считывания отпечатков пальцев. В качестве сканера отпечатков пальцев выбран UART Fingerprint Reader оптического типа, он имеет оптимальное время отклика, менее 1 с.

Система должна быть укомплектована датчиками движения, они необходимы для определения посторонних объектов. Микроконтроллер передает информацию на дисплей для ее последующего отображения. Звуковая сигнализация управляется с помощью микроконтроллера и необходима для привлечения внимания к несанкционированному проникновению.

Особое внимание необходимо уделить алгоритму работы системы контроля доступа. Он должен быть более интеллектуальным, учитывать правила для защиты информации от фальсификации проникновения.

Время фиксации, определения пользователя, занесения данных в информационную базу системы должно быть минимальным. Вся процедура проверки не должна занимать более 10 секунд. Дополнительно система будет оснащена инфракрасным датчиком, с помощью которого можно получить тепловое излучение от пальца, это позволит определить наличие изменения отражения света от поверхности пульсацию потока крови.

### **Заключение**

Охрана объекта – это достаточно сложная задача, связана с ограничением и контролем доступа на закрытую территорию. Чтобы обеспечить контроль доступа повышенной надежности, необходимо серьезно изменить подходы в схемотехническом проектировании. Помимо традиционных элементов – датчиков движения, датчиков открывания дверей и оконных рам, звуковых сигнализаторов, необходима комбинация сканирующих устройств биометрических данных. Все это приводит к определенным стоимостным затратам, поэтому данная системы целесообразна и оправдана не на всех объектах.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Бирюков, А.А. Умные устройства безопасности на микроконтроллерах Atmel / А.А. Бирюков. - Москва : ДМК Пресс, 2017. - 162 с. - ISBN 978-5-97060-558-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1027478> (дата обращения: 10.12.2024). – Режим доступа: по подписке.
2. Сонькин, М. А. Микропроцессорные системы. Применение микроконтроллеров семейства AVR для управления внешними устройствами : учебное пособие / М. А. Сонькин, Д. М. Сонькин, А. А. Шамин. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. - 96 с. - ISBN 978-5-9729-1212-4. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2095074> (дата обращения: 10.12.2024). – Режим доступа: по подписке.
3. Рябов, В. Т. Комплексная разработка механических, электронных и программных компонентов технологического оборудования. Часть 2. Устройство и программирование однокристалльных микроконтроллеров : учебное пособие / В. Т. Рябов. - Москва : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2012. - 124 с. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2169339> (дата обращения: 10.12.2024). – Режим доступа: по подписке.
4. Брюхомицкий, Ю. А. Биометрические технологии идентификации личности : учебное пособие / Ю. А. Брюхомицкий ; Южный федеральный университет. - Ростов-на-

Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2017. - 263 с. - ISBN 978-5-9275-2454-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1021574> (дата обращения: 10.12.2024). – Режим доступа: по подписке.

5. Кашкаров, А. П. Системы безопасности и устройства кодового доступа: просто о сложном : практическое руководство / А. П. Кашкаров. - 2-е изд. - Москва : ДМК Пресс, 2023. - 109 с. - ISBN 978-5-89818-382-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2103620> (дата обращения: 10.12.2024). – Режим доступа: по подписке.

УДК 681.5

Куликов Александр Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kulikov Alexander Alekseevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Alexey Valerievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Electronics and Innovative Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИОСТАНЦИИ DEVELOPMENT OF A RADIO STATIONS PARAMETERS MEASUREMENT LABORATORY STAND**

Аннотация. Лабораторный стенд измерения параметров радиостанции создается с целью улучшения ключевых показателей работы оборудования и повышения надежности эксплуатации. Основные цели разработки стенда включают проведение всесторонних испытаний и оценки характеристик различных типов радиостанций для персонала пользующимися устройствами радиосвязи на производстве. Ожидается, что внедрение устройства измерения параметров радиостанции приведет к повышению эксплуатационной готовности переговорного радиооборудования, увеличению срока службы измеряемых устройств, модульная конструкция устройства способствует снижению затрат на обслуживание, улучшению надежности и долговечности оборудования, а также сокращению ошибок оперативного персонала. В работе продемонстрирована функциональная схема разрабатываемой системы, отвечающей требованиям экономичности, безопасности и включающей функцию удаленного контроля.

Annotation. The laboratory stand for measuring the parameters of the radio station is being created in order to improve the key performance indicators of the equipment and increase the reliability of operation. The main objectives include conducting comprehensive tests and evaluating the characteristics of various types of radios for personnel using radio communication devices in production. It is expected, that the device for measuring radio station parameters will lead to an increase in the operational readiness of the intercom radio equipment, an increase in the service life of the measured devices, the modular design of the device helps to reduce maintenance costs, improve the reliability and durability of equipment, as well as reduce errors of operational personnel. The functional scheme of the system is demonstrated, which meets the requirements of efficiency, safety and includes a remote control function.

Ключевые слова: Стенд, измерение, параметры, радиостанция, электрическая схема.

Keywords: Stand, measurement, parameters, radio station, electrical circuit.

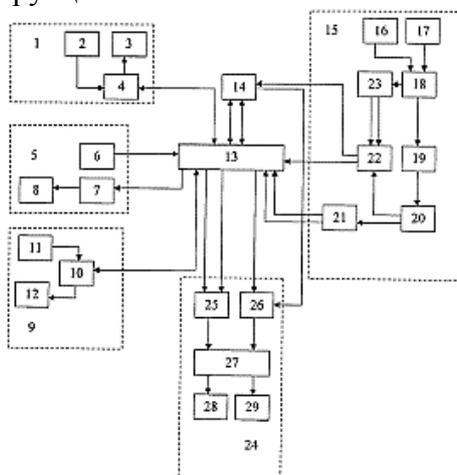
## Введение

Радиостанции в промышленности необходимы для обеспечения надежной и эффективной радиосвязи в условиях работы на производственных площадках, где необходимо оперативное взаимодействие между работниками и службами. Следовательно, надёжная и качественная работа радиостанций является важной составляющей бесперебойного и безаварийного производства. Известно, что со временем параметры радиостанций выходят за допустимые пределы, что вызывает ухудшение качества связи. Поэтому для поддержания радиостанций в исправном состоянии необходим периодический контроль их параметров. Известны различные разработки в области проверки параметров радиостанций. Но устройства либо имеют ограниченный функционал (проверяют не все параметры), либо отличаются высокой ценой из-за чрезмерно большого функционала, либо сложны в обслуживании и ремонте из-за того, что произведены иностранными компаниями.

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является разработка электрической схемы стенда измерения параметров радиостанции для контроля качества сигнала, проверки соблюдения технических характеристик оборудования и оптимизации его работы в сложных электромагнитных условиях, что, в свою очередь, способствует повышению безопасности и эффективности производственных процессов.

## Существующие системы измерения параметров радиостанции

В качестве прототипа разрабатываемого устройства может служить патент №2011143649/07 от 31.10.2011 [1], в котором описывается стенд испытаний радиостанций коротковолнового (КВ) и ультракоротковолнового (УКВ) диапазонов, в котором используется интегральная оценка качества канала связи (рисунок 1). Этот стенд позволяет проводить проверку телеграфного и телефонного каналов, включающих все блоки передающего и принимающего трактов. Но данное техническое устройство отличается сложностью конструкции.



- 1 – формирователь телеграфного сигнала Морзе; 2 – клавиатура; 3 – электронный блок; 4 – наушник (головной телефон); 5 – блок оценки качества телефонного канала; 6 – формирователь тестового сигнала; 7 – приёмник тестового сигнала; 8 – счётчик числа ошибок; 9 – блок анализа телеграфного сигнала; 10 – схема обработки телеграфного сигнала; 11 – блок формирования тестового телеграфного сигнала; 12 – схема анализа телеграфного сигнала; 13 – коммутатор каналов; 14 – модем; 15 – испытываемый приёмный радио тракт; 16, 17 – приёмные антенны; 18 – высокочастотный коммутатор; 19 – аттенюатор; 20 – схема разделения сигналов; 21, 22, 23 – приёмники испытываемого и опорного каналов; 24 – испытываемый передающий радио тракт; 25, 26 – передатчики испытываемого и опорного каналов; 27 – высокочастотный коммутатор; 28 – КВ антенна; 29 – УКВ антенна

Рисунок 1 – Структурная схема стенда испытаний КВ, УКВ радиостанций

### Функциональная схема предлагаемого решения

В качестве лабораторного стенда измерения параметров радиостанции предлагается использовать устройство, функциональная схема которого представлена на рисунке 2.

Разрабатываемый стенд измеряет следующие параметры: диапазон частот радиостанции; мощность выходного сигнала; количество каналов связи.

Схема содержит следующие функциональные блоки [2-5]. Радиоприемный тракт (РПТ) подключен к антенне, принимающей радиосигнал. Задание принимающей частоты радиоприемного тракта происходит с помощью цифрового потенциометра (ЦП). Выходной сигнал с радиоприемного тракта фильтруется и подается на вход микроконтроллера (МК). Тепловой датчик (ТД) подключен к датчику тока (ДТ) для измерения тока в цепи измерителя мощности. Датчик тока подключен к микроконтроллеру. Микроконтроллер подключен к цифровому потенциометру (ЦП) с помощью двух портов и настраивает приемную частоту радиоприемного тракта, после чего радиоприемный тракт подает выходной сигнал на фильтр верхних частот (ФВЧ), сигнал с которого подается в АЦП микроконтроллера через усилитель сигнала (УС). Датчик тока измеряет ток в контуре измерителя мощности и передает данные об измеренном токе в аналого-цифровой преобразователь микроконтроллера. Микроконтроллер посылает в дисплей (Д) данные для отображения с помощью интерфейса I<sup>2</sup>S. На дисплей выводится информация о статусе проверки и о её результатах. Кнопки управления (КУ) подключены к цифровым входам микроконтроллера и необходимы для настройки режима работы стенда.

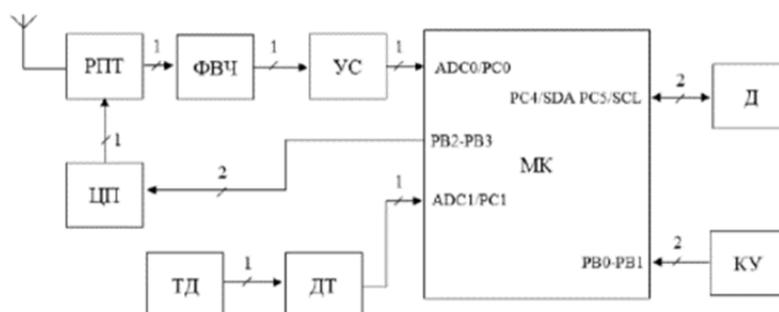


Рисунок 2 – Функциональная схема разрабатываемого стенда

### Заключение

В результате разработки лабораторного стенда для измерения параметров радиостанции был создан инструмент, который позволяет точно и надежно оценивать характеристики радиосигналов, таких как уровень мощности, частота, шум и другие важные параметры, что обеспечивает оптимизацию работы радиостанций, улучшение качества связи и повышение общих эксплуатационных характеристик оборудования. Данный стенд также может служить образовательным ресурсом для подготовки специалистов в области радиосвязи, способствуя практическому ознакомлению студентов с основами радиотехнических измерений.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Заявка 2474964 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Н 04 В 17/00. Стенд для испытания КВ-УКВ радиостанций / Вергелис Н.И.; заявитель и патентообладатель Центральный науч.-исслед. ин-т Министерства обороны Р.Ф. - №2011143649/07; заявл. 31.10.11, опубл. 10.02.13, Бюл. №4 (Iч) -16с.
2. Кушнер, Д. А. Основы промышленной электроники : учебное пособие / Д. А. Кушнер. – Минск : РИПО, 2020. - 268 с. - ISBN 978-985-503-975-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1214793> (дата обращения: 22.11.2024). – Режим доступа: по подписке.

2. Власов, А. Б. Электроника. Аналоговые элементы и узлы электронной аппаратуры : учебное пособие / А. Б. Власов. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. - 264 с. - ISBN 978-5-9729-1560-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2102066> (дата обращения: 22.11.2024). – Режим доступа: по подписке.
3. Марченко, А. Л. Электротехника и электроника : учебник : в 2 томах. Том 1. Электротехника / А. Л. Марченко, Ю. Ф. Опадчий. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 574 с. – (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-009061-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2020596> (дата обращения: 22.11.2024). – Режим доступа: по подписке.
4. Электроника и схемотехника : учебник / В. П. Довгун, А. Ф. Синяговский, И. Г. Важенина, В. В. Новиков ; отв. ред. В. П. Довгун. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. - 580 с. - ISBN 978-5-7638-4573-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2093497> (дата обращения: 22.11.2024). – Режим доступа: по подписке.

УДК 681.518.5

Лавриненко Владимир Дмитриевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lavrinenko Vladimir Dmitrievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Alexey Valerievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Electronics and Innovative Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПРОВЕРКИ ЛИНИИ СВЯЗИ DEVELOPMENT OF A COMMUNICATION LINE VERIFICATION DEVICE**

Аннотация. В работе продемонстрирована концепция разработки прибора проверки линии связи. Проведен анализ существующих технических решений, выявлены их недостатки. В работе продемонстрирована функциональная схема разрабатываемой системы, отвечающая требованиям экономичности и безопасности. Устройство может быть использовано для проверки различных типов линий связи, таких как оптические, кабельные, и беспроводные.

Abstract. The paper demonstrates the concept of developing a communication line testing device. An analysis of existing technical solutions is conducted, their shortcomings are identified. The paper demonstrates a functional diagram of the developed system that meets the requirements of cost-effectiveness and safety. The device can be used to test various types of communication lines, such as optical, cable, and wireless.

Ключевые слова: устройство, линии связи, проверка, типы связи, требования.

Keywords: device, communication lines, testing, types of communication, requirements.

### **Введение**

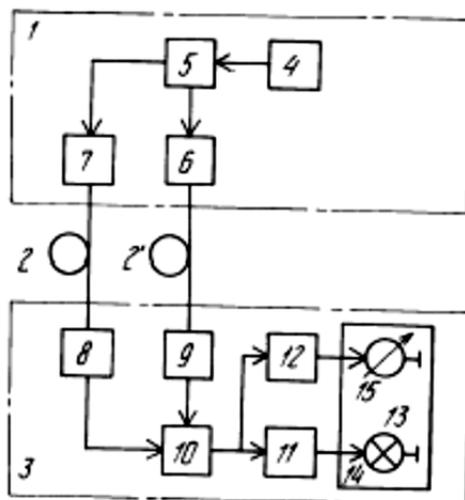
Современные линии связи нуждаются в надежной и стабильной работе для обеспечения непрерывной передачи данных. Однако, из-за различных факторов, такие как упущенный и не выявленный вовремя дефект, человеческий фактор, повреждения проводов могут принести к не радостным итогам. Поэтому, разработка устройств проверки линии связи является важнейшим критерием, позволяющим выявить и устранить

неисправности, при этом обеспечивая высокое качество выпускаемой продукции в промышленности.

Устройство должно быть простым в использовании, иметь высокую точность и скорость проверки, а также обеспечивать визуализацию и интерпретацию полученных данных.

### Существующие системы проверки линии связи

В качестве прототипа разрабатываемого устройства может служить патент №5009888/09 от 04.11.1991, в котором описывается прибор допускового контроля элементов волоконно-оптических линий связи, рисунок 1. Этот прибор позволяет проводить проверку телеграфного и телефонного каналов, включающих все блоки передающего и принимающего трактов. Но данное техническое устройство отличается сложностью конструкции.



- 1 – передающая часть; 2 – контрольный волоконный световод; 3 – приемная часть;  
4 – генератор последовательности импульсов; 5 – коммутатор; 6 – контрольный передающий квантово-электронный модуль; 7 – передающий электронный модуль;  
8 – приемный квантово-электронный модуль; 9 – контрольный приемный квантово-электронный модуль; 10 – коммутатор; 11 – делитель частоты; 12 – интегратор;  
13 – блок индикации; 14 – лампочка; 15 – миллиамперметр.

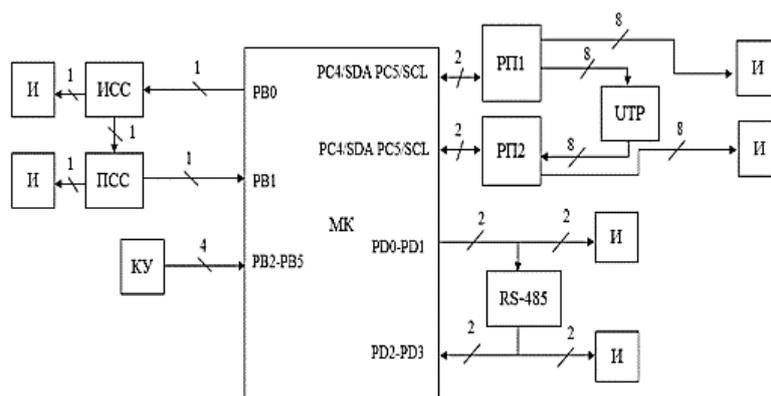
Рисунок 1 – Блок-схема устройства: патент RU2059258

### Функциональная схема предлагаемого решения

В качестве устройства проверки линии связи предлагается использовать устройство, функциональная схема которого представлена на рисунке 2.

Сперва с кнопок управления задается режим работы, также существует кнопка подачи питания (система питается от автономного источника питания). Кнопки подключены к дискретным входам микроконтроллера. Если выбран режим проверки оптического волокна, то происходит подача сигнала на источник светового сигнала, который просвечивает оптическую линию, на другом конце которой установлен приемник светового сигнала. Если световой сигнал прошел успешно, то загораются оба дискретных индикатора. Если выбран RS-485, то микроконтроллер посылает на обе линии данного интерфейса сигналы логической единицы и считывает их на другом конце. Если сигнал прошел успешно, то загораются все дискретные индикаторы.

Если выбран режим UTP, то микроконтроллер посылает телеграмму на первый расширитель портов, который уже подает сигналы в кабельную линию UTP, после чего микроконтроллер получает телеграмму от второго расширителя портов. Если сигнал прошел успешно, то загораются все дискретные индикаторы.



МК – микроконтроллер; И – дискретные индикаторы; ИСС – источник световых сигналов; ПСС – приемник световых сигналов; КУ – кнопки управления; РП1...РП2 – расширители портов; UTP – восьмиканальный кабель; RS-485 – двухканальная линия RS-485

Рисунок 2 – Функциональная схема разрабатываемого устройства

### Заключение

В результате разработки устройства проверки линии связи был создан многофункциональный тестер, который способен эффективно и надежно проверять состояние различных типов кабелей, включая витую пару и коаксиальные кабели. Устройство включает в себя девять каналов, что позволяет одновременно тестировать восемь информационных линий и одну линию заземления. Это значительно упрощает процесс диагностики и повышает его эффективность. Кроме того, разработанное устройство проверки линии связи представляет собой современное решение для диагностики и тестирования телекоммуникационных систем, что делает его ценным инструментом для специалистов в области связи и сетевых технологий. Оно отвечает современным требованиям к качеству и надежности, что позволяет эффективно решать задачи по обеспечению бесперебойной работы линий связи.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кушнер, Д. А. Основы промышленной электроники: учебное пособие / Д. А. Кушнер. – Минск: РИПО, 2020. - 268 с.
2. Марченко, А. Л. Электротехника и электроника: Учебник. В 2 томах. Том 1: Электротехника / А.Л. Марченко, Ю.Ф. Опадчий - Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 574 с.
3. Власов, А. Б. Электроника. Аналоговые элементы и узлы электронной аппаратуры: учебное пособие / А. Б. Власов. - Москва; Вологда: ИнфраИнженерия, 2023. - 264 с.
4. Микаева, С. А. Электроника и схемотехника: учебное пособие / С. А. Микаева, А. Н. Брысин, Ю. А. Журавлева. - Москва; Вологда: ИнфраИнженерия, 2023. - 184 с.
5. Заявка 2059258 Российская Федерация, МПК6 G 01 R 31/28. Устройство допускового контроля элементов волоконно-оптических линий связи / Гроднев И.И.; заявитель и патентообладатель Журавин А.И, Медведев Ю. П., Спиринов А.Р - №5009888/09; заявл. 04.11.91, опубл. 27.04.96 -5с.
6. Электроника и схемотехника: учебник / В. П. Довгун, А. Ф. Синяговский, И. Г. Важенкина, В. В. Новиков; отв. ред. В. П. Довгун. - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2022. - 580 с.

УДК 681.3

Локтионов Григорий Андреевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Loktionov Grigory Andreevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Копытов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kopytov Sergey Mikhailovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОГО ДЖОЙСТИКА НА ОСНОВЕ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА DEVELOPMENT OF COMPUTER JOYSTICK BASED ON MICROELECTROMECHANICAL ACCELEROMETER**

Аннотация. Целью работы является разработка оригинального джойстика для удобного дистанционного управления движущейся по поверхности платформой с помощью компьютера. Устройство предусматривает плавное изменение скорости и направления движения, защиту от подачи случайного воздействия. В джойстике использован датчик, реагирующий на гравитацию, разработан макет устройства. Предусмотрена связь с компьютером посредством интерфейса USB. Разработан программный модуль на языке LabVIEW для получения данных от джойстика.

Abstract. The purpose of the work is to develop an original joystick for convenient remote control of a platform moving on the surface by computer. The device provides smooth change of speed and direction of movement, protection against accidental impact. The joystick uses a sensor that reacts to gravity, the layout of the device has been developed. Communication with a computer via USB interface is provided. A program module in LabVIEW language has been developed to receive data from the joystick.

Ключевые слова: джойстик, акселерометр, угол наклона, преобразователь USB-I2C, LabVIEW.

Key words: joystick, accelerometer, tilt angle, USB-I2C converter, LabVIEW.

### **Введение**

Дистанционное управление беспилотными подвижными аппаратами в настоящее время является доминирующим. Такие аппараты могут перемещаться в воздушной и в водной среде, а также по поверхности. Техническими устройствами для преобразования движения рук оператора в электрические сигналы являются различные специализированные пульты для управления объектом по радиоканалу, а также универсальные джойстики, применяемые как в компьютерных играх, так и для управления подвижными аппаратами. Однако в некоторых случаях, данные устройства не достаточно удобны, и для выполнения аналогичных операций может быть предложено альтернативное решение. Такой областью применения, например, является удаленный сбор видеоинформации с движущегося аппарата, управляемого с помощью компьютера. При этом будет удобно, если все функции по управлению аппаратом, по сбору видео и другой информации и по обработке этой информации будут реализованы в рамках одной программы.

Целью работы является разработка конструкции, схемы и программного обеспечения специализированного джойстика, подключаемого к компьютеру, предназначенного для управления движением подвижного аппарата по поверхности.

### **Основная часть**

В качестве основы джойстика предложено использовать микроэлектромеханический трехосевой акселерометр [1]. Обработка его данных позволяет определять

направление и значение угла наклона относительно двух взаимно перпендикулярных горизонтально расположенных осей.

Один из этих углов будет определять направление и скорость движение платформы по оси X, а второй – по оси Y. При одновременном наличии обоих углов платформа должна совершать поворот.

Макет конструкции джойстика создан на основе компьютерной мышки (рисунок 1). К внешней части основания мышки винтом прикреплена пластиковая полусфера. Эта полусфера выполнена из защитной оболочки светодиодной лампы. Для утяжеления и придания прочности полусфера заполнена металлическими элементами и залита эпоксидной смолой. Внутренности мышки удалены за исключением нажимных кнопок. Во внутренней полости мышки к основанию прикреплен миниатюрный модуль акселерометра и драйвер для подключения джойстика к USB разъему компьютера.



Рисунок 1 – Действующий макет джойстика

Без приложения внешних усилий часть джойстика в виде мышки принимает горизонтальное положение, поскольку центр тяжести всей конструкции находится в полусфере. Для управления джойстиком требуется в большей или меньшей степени его наклонить и удерживать такое положение некоторое время. Поскольку иногда наклоны могут быть случайными, предусмотрено подтверждение данного действия путем одновременного воздействия на одну из кнопок.

В джойстике использован миниатюрный модуль с акселерометром ADXL345, который поддерживает интерфейс I2C и отзывается на адрес 83 (рисунок 2, а) [2]. Для подключения модуля акселерометра к компьютеру применен модуль последовательного преобразователя USB-UART/I2C на основе микросхемы MCP2221A (рисунок 2, б). Модуль MCP2221A представляет собой HID устройство, для подключения которого к компьютеру не требуется установка программных драйверов [3]. Кроме работы с интерфейсами UART и I2C модуль может обслуживать четыре многорежимных порта GPIO. Один из этих портов предлагается использовать для опроса кнопки джойстика.



а)



б)

Рисунок 2 – Модули акселерометра (а) и преобразователя USB-UART/I2C (б)

Поскольку джойстик нестандартный, то типовые программы для работы с существующими джойстиком для него не подойдут. Программу управления движением удаленного объекта предполагается выполнить в среде графического программирования.

ния LabVIEW [4]. Поэтому и программный модуль обслуживания джойстика целесообразно разработать в данной среде.

Для работы с преобразователем интерфейса MCP2221A по адресу <https://lavag.org/files/file/300-mcp2221a-library/> необходимо скачать сжатый файл библиотеки MCP2221A 1.0.0, распаковать его и сохранить в папке C:\Program Files (x86)\National Instruments\LabVIEW 2020\user.lib среды LabVIEW [5]. После этого в палитре «User Libraries» блок-диаграммы появится папка с функциями работы с преобразователем MCP2221A.

Блок-диаграмма программного модуля обслуживания джойстика приведены на рисунке 3.

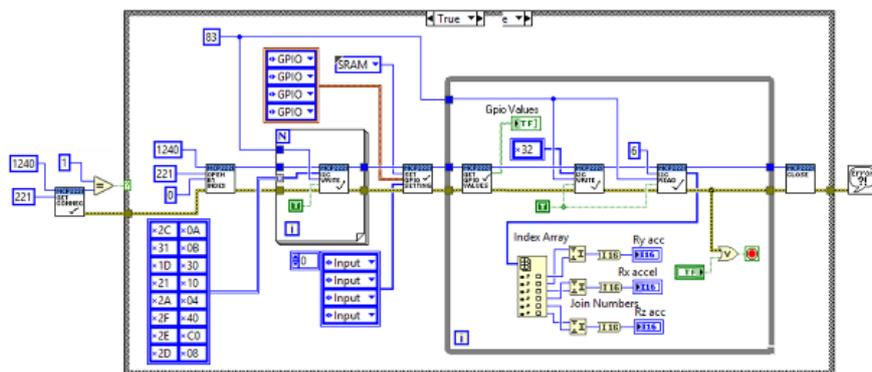


Рисунок 3 – Блок-диаграмма программного модуля обслуживания джойстика

В программном модуле использованы следующие семь функций: «Получить подключенные устройства», «Открыть по индексу», «Запись в I2C», «Установить настройки GPIO», «Получить значения GPIO», «Чтение I2C», «Закрытие» (рисунок 4).

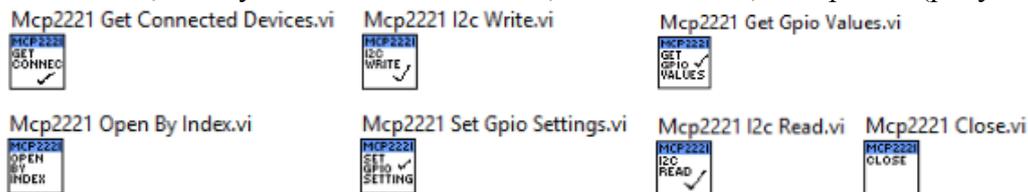


Рисунок 4 – Функции, используемые в модуле обслуживания джойстика

Модуль сначала инициализирует интерфейс I2C для работы с акселерометром по адресу 83 и устанавливает настройки для чтения портов ввода-вывода. Затем в цикле осуществляет опрос состояния кнопки и считывание показаний акселерометра по всем трем осям. Задачей основной программы является обработка этих значений для генерации управляющих воздействий. Стоит отметить, что легко программно назначить удобное для оператора исходное положение джойстика в качестве начала отсчета углов.

### Заключение

Таким образом, в работе предложен оригинальный джойстик для управления движением аппарата по поверхности. Такой джойстик может использоваться для ввода информации в компьютер с помощью интерфейса USB. В качестве датчика углового положения применен микроэлектромеханический трехосевой акселерометр с интерфейсом I2C, реагирующий на ускорение свободного падения. Для преобразования интерфейса I2C-USB использован HID модуль на базе микросхемы MCP2221A. Разработан макет джойстика. За счет подтверждающей кнопки обеспечена защита от подачи ложного сигнала. Предложен программный модуль обслуживания джойстика на языке графического программирования LabVIEW, который может использоваться в составе программного проекта управления, сбора и обработки информации с удаленного движущегося аппарата на компьютере.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. МЭМСы. Как устроены современные датчики? [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/companies/milandr/articles/532662/> (дата обращения: 05.11.2024).
2. Семенов, Б. Ю. Шина I2C в радиотехнических конструкциях / Б. Ю. Семенов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2010. – 224 с.
3. Тимохин, П. А. Применение микросхемы CP2112 в качестве преобразователя USB-I2C в среде LabVIEW / П.А. Тимохин, С. М. Копытов // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : материалы Всеросс. науч.-практ. конф. молодых ученых, г. Комсомольск-на-Амуре, 16-17 ноября 2023 г. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2023. – С. 275-278.
4. Суранов, А. Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям / А. Я. Суранов. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 536 с.
5. Библиотека MCP2221A 1.0.0. [Электронный ресурс]. – URL: <https://lavag.org/files/file/300-mcp2221a-library/> (дата обращения: 05.11.2024)/

УДК 681.5

Лямин Михаил Андреевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Черный Сергей Петрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой ЭПАПУ, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lyamin Mikhail Andreevich, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Chernyy Sergey Petrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of EDAPU, Komsomolsk-na-Amure State University

## **К ВОПРОСУ РОБОТИЗАЦИИ ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЕЙ В САМОЛЁТОСТРОЕНИИ ON THE QUESTION OF ROBOTIC CABLE LAYING IN AIRCRAFT ENGINEERING**

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос прокладки кабельных линий в процессе производства летательных аппаратов. Предложено новое решение по автоматизации технологического процесса с использованием транспортного робота особой конфигурации. Рассмотрен вариант реализации роботизированного технологического процесса укладки жгутов кабелей во внутренних полостях летательного аппарата с использованием предложенного робота.

Abstract. The article considers the issue of cable laying in aircraft. A new solution for automation of the process using a specially configured transport robot is proposed. A variant of the implementation of a robotic technological process for laying cable bundles in the internal cavities of an aircraft using the proposed robot is considered.

Ключевые слова: автоматизация, роботизированный процесс, самолётостроение, кабельные линии, функциональная схема.

Key words: automation, robotic process, aircraft engineering, cable lines, functional diagram.

### **Введение**

Прокладка кабельных линий в самолетах выполняется под декоративной обшивкой свободно по трассам или в гофрах в зависимости от количества линий в жгуте, типов проводов и особенностей эксплуатации в конкретной зоне. Так как все провода на самолетах эксплуатируются в условиях повышенной вибрации, а прокладка ведется через элементы каркаса, то для предотвращения перетирания используют гофру. Она прокладывается между распределительными коробками и подводится ко всем компонентам в составе авиационного оборудования. При этом прокладка всей электросети зачастую происходит с использованием ручного труда рабочих. Учитывая, что в современных самолётах длина проводов сети исчисляются километрами (к примеру, в само-

лёте SSJ-100 более 80 км проводов [1]), разработка систем автоматической прокладки электрических сетей во внутренних отсеках самолёта является актуальной задачей. Целью в рамках данной работы является исследование возможности автоматизации технологического процесса прокладки жгутов проводов в самолёте.

#### **Возможный вариант автоматизации укладки жгута**

Для автоматизации процесса укладки проводов предлагается использовать транспортный робот особой конфигурации. Робот должен быть малогабаритным, для того чтобы иметь возможность проехать во внутренних отсеках самолёта. При этом робот должен иметь возможность преодолевать различные преграды (силовые шпангоуты, рёбра лонжеронов и/или стрингеров). Пример зоны работы представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внутренняя полость с проводами летательного аппарата

Предлагается использовать робот (рисунок 2) с основным несущим телом, к которому крепятся специализированные модули позиционирования, представляющие собой сборку из нескольких электроприводов.

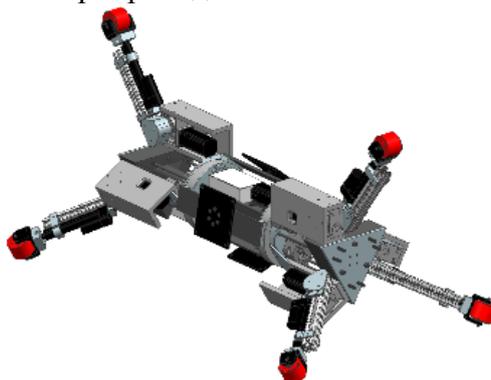


Рисунок 2 – 3D модель робота

В основании каждого модуля позиционирования установлен шаговый двигатель с редуктором, на выходной вал которого крепятся все остальные детали. Такое крепление позволит изменять угол наклона модуля позиционирования относительно основного тела робота. Далее на вал установлен привод с шаро-винтовой передачей (ШВП), за счёт которой изменяется дна модуля позиционирования. На конце ШВП установлено мотор-колесо, обеспечивающее движение по внутренней поверхности фюзеляжа самолёта. Управление такого рода многодвигательной системой предлагается осуществлять с использованием интеллектуальных систем управления на базе алгоритмов нечёткой логики [2-4].

Тех. процесс при использовании робота будет следующим. Оператор на подготовительном стенде (рисунок 3) собирает жгут проводов, после чего укладывает в специализированный склад.

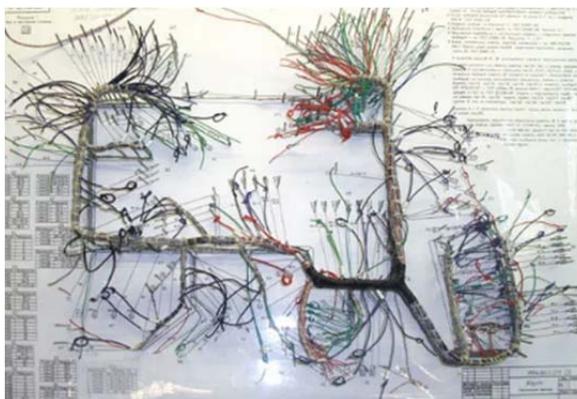


Рисунок 3 – Стенд подготовки жгутов

Далее с использованием пульта дистанционного управления роботом выбирается жгут, который необходимо проложить. После этого жгут закрепляется на основное несущее тело робота, и он начинает движение по заданному маршруту в соответствии с выбранным жгутом.

Функциональная схема роботизированного технологического процесса изображена на рисунке 4.

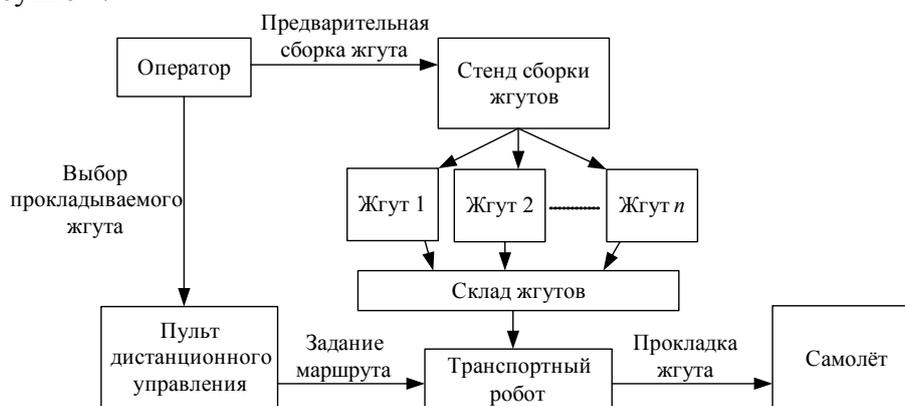


Рисунок 4 – Функциональная схема тех. процесса роботизированной прокладки жгута проводов в самолёте

Таким образом, заменяя ручной труд на роботизированный процесс, в теории, возможно ускорить процесс укладки жгутов проводов в самолёте, снизить влияние человеческого фактора на конечный продукт и как следствие повысить качество прокладки питающих и управляющих сетей летательных аппаратов.

### Заключение

В условиях современных производств снижение влияния человеческого фактора за счёт средств автоматизации и роботизации различных технологических процессов существенно повышается качество и производительность производственных линий. В данной статье предложен один из возможных вариантов автоматизации технологического процесса прокладки жгутов проводов в летательных аппаратах. Разработана функциональная схема роботизированного технологического процесса прокладки жгута во внутренних отсеках летательного аппарата. Предложенная платформа транспортного робототехнического комплекса представляет собой универсальный модуль, позволяющий перемещать технологическое оборудование в различных условиях с заданной точностью. Применение робототехнических комплексов на различных этапах сборки летательных аппаратов позволит нивелировать сложности технологического характера, обусловленные модернизацией и совершенствованием конструкций узлов, а также некоторыми кадровыми проблемами на предприятиях Хабаровского края.

### **Благодарности.**

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на 2024-2026 годы по теме "Автоматизация авиастроительных производств с применением средств промышленной робототехники".

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Доля С.С. Как делают самолеты. Часть 2. Электронный ресурс. URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/9752/> (дата обращения 22.11.2024)
2. Черный С.П. Один из подходов к моделированию двухкаскадной нечеткой системы управления электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости // Электротехнические системы и комплексы. – 2022. – №2 (55). – С. 32-39.
3. Лямин М. А., Черный С. П. Система совместного управления электроприводами мотор-колесо робототехнического транспортного комплекса для магистральных трубопроводов. Комсомольск-на-Амуре: Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 7(71). – С. 66-73. – DOI 10.17084/20764359-2023-71-66. – EDN GESP NF.
4. Черный С.П. Особенности моделирования нечетких систем управления с комбинированным внутренним каскадом // Ученые записки КнАГТУ «Науки о природе и технике». – 2020. – № I-1(41). – С. 73-82.

УДК 621.316.722.076.12

Ляпин Владимир Владимирович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lyapin Vladimir Vladimirovich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Табаров Бехруз Довудходжаевич, кандидат технических наук, доцент; Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tabarov Behruz Dovudhodzhayevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Komsomolsk-na-Amure State University

Соловьев Вячеслав Алексеевич, доктор технических наук, профессор; Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Solovyov Vyacheslav Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Professor; Komsomolsk-na-Amure State University

### **ВЛИЯНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ НА РАБОТУ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ THE EFFECT OF VOLTAGE INSTABILITY OF THE SUPPLY NETWORK ON THE OPERATION OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS**

Аннотация. В работе рассматривается влияние нестабильности напряжения питающей сети на работу существующих зарядных станций электромобилей. Исследование проводилось в среде Matlab на имитационной модели городской трансформаторной подстанции, где питаются зарядные станции электромобилей совместно с городскими потребителями электроэнергии. Полученные результаты исследования подтверждают, что изменение напряжения в питающей сети от номинального значения приводит, не только к ухудшению эффективности работы зарядные станции электромобилей, но к сокращению их срока службы.

Abstract – The paper examines the effect of voltage instability of the supply network on the operation of existing electric vehicle charging stations. The study was conducted in the Matlab environment on a simulation model of an urban transformer substation, where electric vehicle charging stations are powered together with urban electricity consumers. The obtained

research results confirm that a change in the voltage in the supply network from the nominal value leads not only to a deterioration in the efficiency of electric vehicle charging stations, but also to a reduction in their service life.

Ключевые слова: исследование, модель, зарядная станция, электромобиль, электросеть.  
Key words: research, model, charging station, electric car, circuit.

### Введение

На сегодняшний день в связи с экологическими условиями в мировом машиностроении наблюдается тенденция постепенного смещения интереса от автомобилей с двигателями внутреннего сгорания к электромобилям. В октябре 2024 года мировые продажи электрических и гибридных автомобилей увеличились на 35% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года и достигли 1,72 млн. рублей [1]. С ростом числа электрокаров необходимо заблаговременно увеличивать количество зарядных станций для обеспечения их комфортного и эффективного использования.

Помимо внедрения большого числа станций, требуется правильный выбор их типа (медленные и быстрые). Исходя из опроса, проведенного аналитическим агентством «АВТОСТАТ», владельцы электротранспорта тратят в большинстве случаев 2-4 часа на зарядку от медленной зарядки и в то же время на быструю зарядку тратится 31-40 минут [2].

Стоит учитывать и ряд ограничений, а именно присоединяемую мощность, влияние дополнительной нагрузки на согласующий трансформатор, поскольку ток заряда носит реактивно емкостной характер. Также в зависимости от места подключения зарядной станции напряжение питающей сети может быть выше номинального при близости к трансформаторной подстанции или в момент минимума нагрузки или ниже номинального в моменты пиковой нагрузки потребителей, удаленности зарядных станций от распределительных трансформаторов.

### Основная часть

Для оценки влияния напряжения питающей сети на работу зарядной станции электромобилей ниже выполнен анализ подключения с использованием реальных данных. Зарядная станция в данном исследовании размещается на АЗС, которые в основном подключаются к городским трансформаторным подстанциям мощностью до 630 кВА. Анализ осуществлялся на модели, приведенной на рисунке 1. К источнику питания подключен понижающий трансформатор 6/0.4 кВ. К вторичной обмотке трансформатора подключена типовая нагрузка АЗС, и зарядная станция, состоящая из выпрямителя и аккумулятора электромобиля мощностью 24кВт/ч и номинальным напряжением 360В [3].

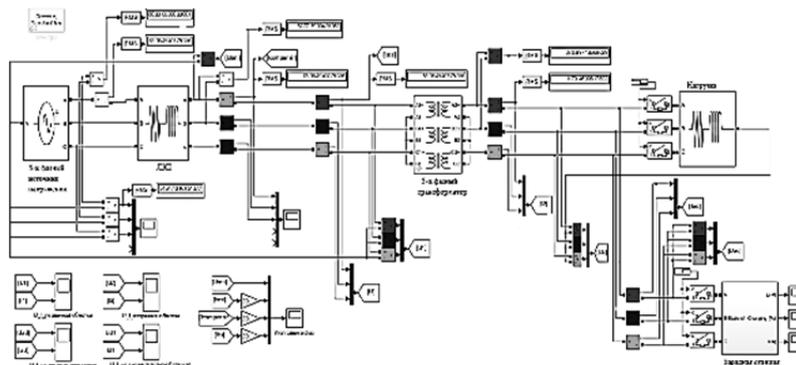


Рисунок 1 – Имитационная модель городской трансформаторной подстанции совместно с зарядной станции электромобилей

Полученные результаты исследований влияния напряжения питающей сети на работу зарядной станции приведены на рисунках 2-5. Надписи, приведенные на рисунке 2 и рисунке 3 обозначают мгновенные значения фазных напряжений и токов питаю-

щей сети ( $u_A$ ,  $u_B$ ,  $u_C$  и  $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_C$ ) и на нагрузке ( $u_{Aн}$ ,  $u_{Bн}$ ,  $u_{Cн}$  и  $i_{Aн}$ ,  $i_{Bн}$ ,  $i_{Cн}$ ). Как видно из приведенных осциллограмм, зарядная станция подключена к вторичной обмотке городского трансформатора в момент времени  $t=0.05$  с, изначально напряжение в питающей сети понижено на 10% от номинального, а в момент времени  $t=0.1$  с внезапно напряжение в питающей сети повышается до номинального уровня, и в момент времени  $t=0.2$  с напряжение в сети резко повышается на 10% от номинального значения.

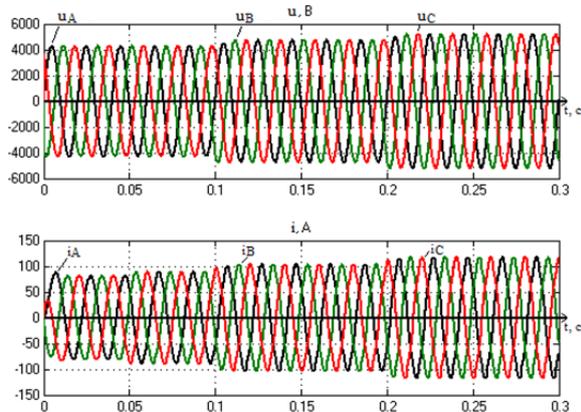


Рисунок 2 – Осциллограммы тока и напряжения питающей сети

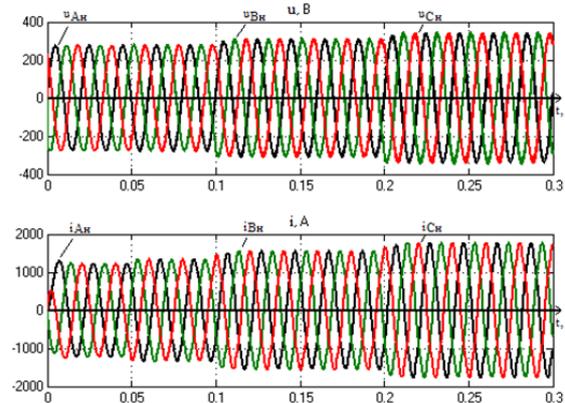


Рисунок 3 – Осциллограммы тока и напряжения нагрузки

Осциллограммы, показанные на рисунке 4а и рисунке 4б иллюстрируют ток ( $i$ ) и напряжения ( $u$ ) аккумуляторной батареи при резком изменении напряжения питающей сети, а рис. 5 иллюстрирует процесс заряда аккумуляторной батареи при номинальном (2), пониженном (3) и повышенном (1) напряжении питающей сети.

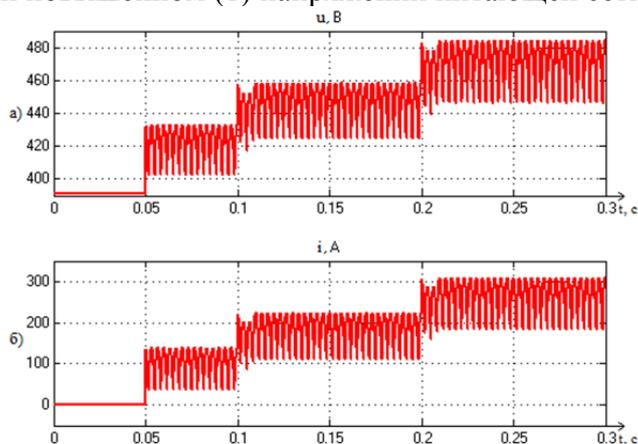


Рисунок 4 – Осциллограммы тока и напряжения при заряде аккумуляторной батареи

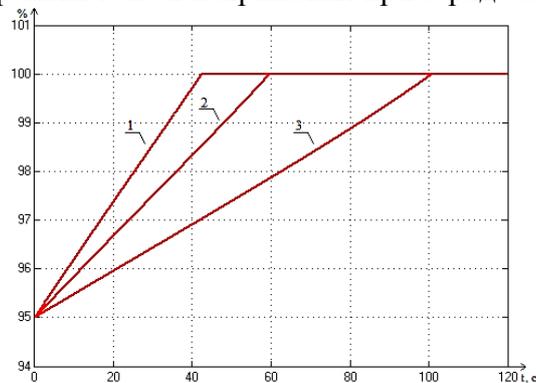


Рисунок 5 – График изменения процента заряда при нестабильности напряжения питающей сети

Полученные результаты численных экспериментов подтверждают, что отклонение напряжения в питающей сети приводит не только к нестабильности работы зарядной станции, но и к снижению её эффективности и сокращению срока службы.

### **Заключение**

Анализ полученных в рамках данной работы результатов исследования численных экспериментов показал необходимость создания нового технического решения для повышения эффективности работы зарядных станций электромобилей совместно с городскими потребителями электроэнергии и сохранения их срока службы. В будущих работах планируется провести исследование влияния нестабильности напряжения питающей сети на работу зарядных станций с LC-фильтрами, а также для устранения недостатков существующих зарядных станций электромобилей будет предложено новое техническое решение на основе магнитно-тиристорного устройства.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Мировые продажи электромобилей и гибридов обновили рекорд. Они выросли на 35% в октябре [Электронный ресурс] URL <https://kz.kursiv.media/2024-11-13/kmlz-electrocarprodazhi/> (Дата посещения 26.11.2024).
2. Сколько времени тратят владельцы электромобилей на их зарядку [Электронный ресурс] URL <https://www.autostat.ru/news/58942/> (Дата посещения 26.11.2024).
3. Батарея Ниссан Лиф: характеристики, ресурс [Электронный ресурс] URL <https://avtobond.ru/elektromobili/elektromobili-nissan/batareya-nissan-lif-harakteristiki-resurs/> (Дата посещения 27.11.2024).

УДК 62-882:519.876.5

Ляховский Владислав Евгеньевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lyakhovskiy Vladislav Evgenevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Стельмашук Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Stelmashchuk Sergey Valerevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С УПРУГИМ ОБЩИМ ВАЛОМ В СРЕДЕ SIMINTECH SIMULATION OF A TWO-MOTOR ELECTRIC DRIVE WITH AN ELASTIC COMMON SHAFT IN A SIMINTECH ENVIRONMENT**

Аннотация. Среда SimInTech, являясь альтернативой зарубежным аналогам, выполняет моделирование гибридных систем. Интерфейс среды и справочная документация выполнены на русском языке, что делает её удобной в использовании. На сегодняшний день использование российского программного обеспечения является актуальным вопросом импортозамещения. В рамках статьи представлен пример моделирования двухдвигательного электропривода постоянного тока с механической частью в виде упругой трехмассовой механической системы. Показано использование модели для исследования динамических свойств привода.

Abstract. The SimInTech environment, being an alternative to foreign analogues, allows you to model hybrid systems. The interface of the environment and the reference documentation are in Russian, which makes it easy to use. To date, the use of Russian software is an urgent issue of import substitution. The article presents an example of modeling a two-motor DC electric drive with a mechanical part in the form of an elastic three-mass mechanical system. The use of the model to study the dynamic properties of the drive is shown.

Ключевые слова: многомассовая механическая система, система автоматического регулирования, двигатель постоянного тока, структурная схема, переходный процесс  
 Key words: multi-mass mechanical system, automatic control system, DC motor, block diagram, transient process

### Введение

Многодвигательный электропривод в настоящее время находит широкое применение в транспорте и промышленности. Электромеханическая система из нескольких двигателей должна управляться общей системой автоматического регулирования скорости общего вала с равномерным распределением нагрузки на двигателях.

Разработка сложной системы управления многодвигательного электропривода представляет собой трудоёмкий процесс. Для повышения эффективности проектирования привода, проводится имитационное моделирование привода, которое позволяет проводить исследования результатов проектирования без необходимости использования лабораторных стендов [1].

Количество работ, посвящённых использованию отечественной среды моделирования SimInTech, увеличивается, особенно в плане исследования электроприводов [2]. Что подтверждает актуальность применения данного программного обеспечения. В данной статье рассматривается использование среды моделирования SimInTech для имитационного моделирования упругой механической части двухдвигательного электропривода с двигателями постоянного тока с независимым возбуждением. Среда SimInTech содержит библиотеки блоков электрических машин и динамических элементов для построения электромеханических систем и расчета графиков переходных процессов параметров привода [3].

### Основная часть

При решении вопроса равномерного распределения нагрузки, наличие упругих свойств в механической части приводит к возникновению упругих моментов, из-за которых могут возникнуть аварийные ситуации, повышенный износ и разрушение рабочего органа механизма. Поэтому для исследований динамических свойств многомассовой механической системы многодвигательного электропривода постоянного тока разработана имитационная модель с использованием блоков разделов «Автоматика» и «Электрические машины». Структурная схема модели представлена на рисунке 1.

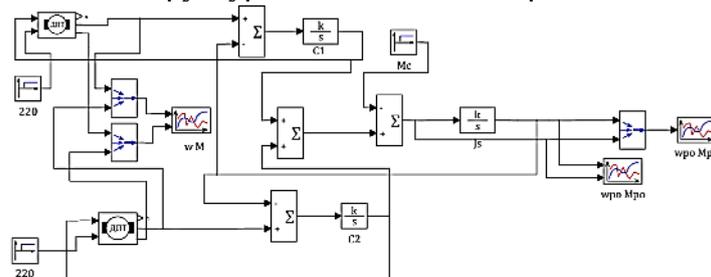


Рисунок 1 – Имитационная модель трехмассовой системы механической части двухдвигательного электропривода постоянного тока

Здесь представлены два блока двигателей постоянного тока с независимым возбуждением DPT из раздела «Электрические машины», управляемые напряжением на якорях двигателей. Остальные блоки из раздела «Автоматика» образуют модель соединения упругими валами с коэффициентами жесткости  $C1$  и  $C2$  якорей двигателей с рабочим органом механизма, имеющим момент инерции  $J_s$ . Моменты инерции якорей двигателей содержатся в блоках DPT.

На рисунке 2 представлены графики переходных процессов скорости двигателей и рабочего органа, а также электромагнитных моментов двигателей и суммарного момента на рабочем органе. С их помощью можно проводить анализ распределения нагрузки на рабочем органе  $M_c$  между двигателями.

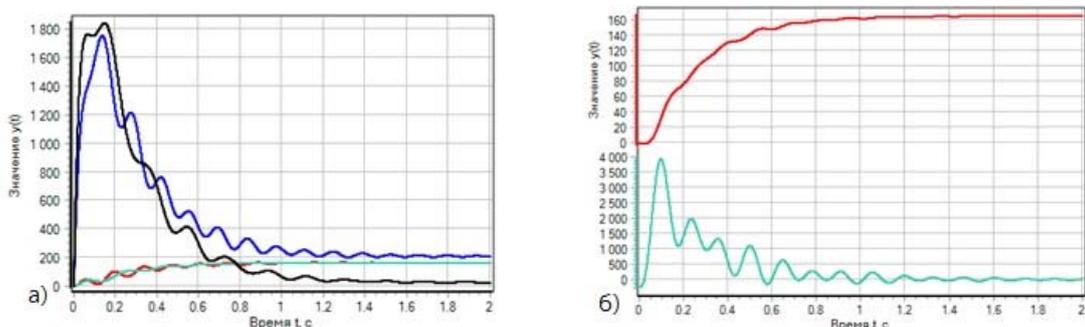


Рисунок 2 – Графики переходных процессов скорости и моментов двигателей (а) и рабочего органа (б)

На рисунке 3 отображены результаты расчетов упругих моментов, возникающих на концах упругих валов между двигателями и рабочим органом механизма. По ним можно проводить исследования о возможности возникновения упругих деформаций, приводящих к разрушению рабочего органа.

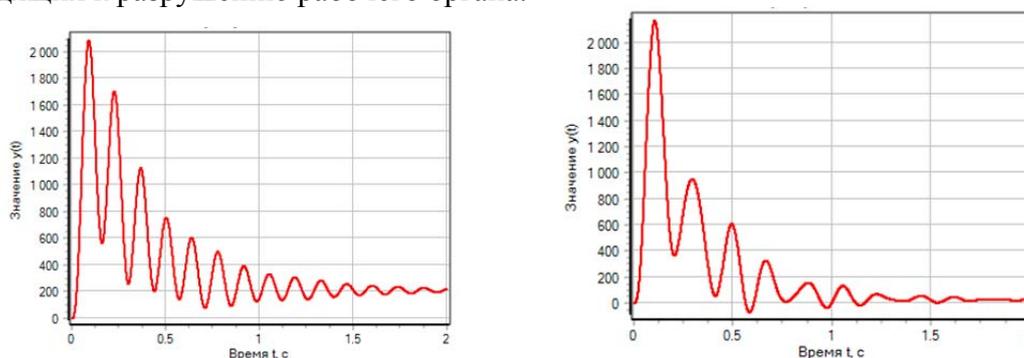


Рисунок 3 – Графики переходных процессов упругих моментов

### Заключение

Результаты моделирования показали, что среда моделирования SimInTech обладает удобным интерфейсом для построения моделей электромеханических систем, позволяет наглядно проводить исследования динамических режимов работы многодвигательных электроприводов с многомассовой упругой механической частью. В дальнейшем результаты моделирования будут использоваться для построения систем автоматического регулирования скорости привода и равномерного распределения нагрузки между двигателями при соблюдении условия недопустимости превышения упругих усилий на концах валов привода.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Еремочкин, С. Ю. Разработка имитационной модели однофазного асинхронного электропривода в среде динамического моделирования SimInTech / С. Ю. Еремочкин, Д. В. Дорохов, А. А. Жуков // Вестник НГИЭИ. – 2024. – № 1(152). – С. 59-71. – DOI 10.24412/2227-9407-2024-1-59-71. – EDN FUZVQL.
2. Мурзин, Е. К. Имитационная модель асинхронного частотного электропривода с векторным управлением в среде SIMINTECH / Е. К. Мурзин, С. В. Стельмашук // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 208-210. – EDN FNNGFC.
3. Колесник, М. Б. Моделирование работы электромеханической системы управления приводом герметичной задвижки в среде SIMINTECH / М. Б. Колесник // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 1(65). – С. 54-59. – DOI 10.17084/20764359-2023-65-54. – EDN SCLJHD.

УДК 681.5

Минебаев Николай Леонидович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Minebaev Nicolai Leonidovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Горькавый Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Gorkavi Alexandr Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕННОЙ ЗАДЕРЖКИ ИДЕНТИФИКАТОРА МОМЕНТА ИНЕРЦИИ В МЕХАТРОННОМ МОДУЛЕ С АДАПТИВНЫМ МОДАЛЬНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ**

## **STUDY OF THE INFLUENCE OF TRANSPORT DELAY IN THE MOMENT OF INERTIA IDENTIFIER IN A MECHATRONIC MODULE WITH AN ADAPTIVE MODAL REGULATOR**

Аннотация. В работе рассматривается функционирование мехатронного модуля, построенного на принципах модального управления с адаптивным регулятором, и исследуется влияние временной задержки идентификатора момента инерции на соответствие переходных процессов системы управления заданным стандартным формам. Переходные процессы в мехатронном модуле анализируются в границах изменения момента инерции первого звена трёхзвенного манипулятора в процессе траекторных перемещений.

Abstract. The paper examines functioning of a mechatronic module built on modal control principles with an adaptive regulator, and studies influence of moment of inertia identifier blocks transport delay on correspondence of its transient processes and chosen standard forms. Transient processes in the mechatronic module are analyzed within the limits of the change in the moment of inertia of the first link of a three-link manipulator during trajectory movement.

Ключевые слова: момент инерции, модальная система управления, адаптивная система управления, дискретизация, моделирование.

Key words: moment of inertia, modal control system, adaptive control system, discretization, modeling

### **Введение**

В промышленном роботе взаимное движение мехатронных модулей обеспечивает траекторное перемещение рабочего органа. От качества функционирования систем управления мехатронных модулей зависит как точность позиционирования, так и динамическая точность при отработке траекторий. Звенья промышленного робота своими угловыми положениями влияют на момент инерции друг друга.

Построение системы управления мехатронных модулей на принципах модального управления позволяет добиваться их качественного функционирования в либо условиях неизменяемых параметров, либо при их незначительном статическом отклонении от расчётных.

Существенное изменение моментов инерции звеньев вынуждает применять адаптивные подходы к синтезу систем управления [1].

В работе рассматривается адаптивная система управления мехатронным модулем, которая включает в себя: объект (усилитель – двигатель постоянного тока); идентификатор момента инерции [2] (оценивает моменты инерции в зависимости от угловых положений звеньев); модальный регулятор [3] с перестраиваемыми коэффициентами.

Целью работы является исследование влияния на качество функционирования рассматриваемой системы временной задержки идентификатора.

### Основная часть

В результате синтеза модального регулятора для рассматриваемого объекта (первого звена) третьего порядка с вектором состояния, включающим в себя координаты  $x_1(t) = \phi(t)$ ,  $x_2(t) = \omega(t)$ ,  $x_3(t) = I(t)$  коэффициенты модального регулятора  $u(t) = -F \cdot x(t)$  получаются следующими:

$$f_1 = \frac{J \cdot T_{dv} \cdot \omega_0^3}{Cf \cdot K \cdot k_{dv} \cdot k_{tp}}; f_2 = \frac{3 \cdot \omega_0^2 \cdot J \cdot T_{dv} - k_{dv} \cdot Cf^2}{k_{dv} \cdot k_{tp} \cdot Cf}; f_3 = \frac{3 \cdot T_{dv} \cdot \omega_0 - 1}{k_{dv} \cdot k_{tp}},$$

где  $J$  – момент инерции;  $\omega_0$  – показатель быстродействия.

В результате цифровой природы идентификатора, оценка момента инерции  $J_0$  и его фактическое значение  $J$  не совпадают. В таком случае, передаточная функция системы с модальным регулятором при его настройке на биномиальную стандартную форму [3], имеет вид:

$$W_{\text{несинх.}}(p) = \frac{\omega_0^3 \cdot \frac{J_0}{J}}{p^3 + 3\omega_0 p^2 + 3\omega_0^2 \frac{J_0}{J} p + \omega_0^3 \frac{J_0}{J}} \quad (1)$$

Если  $J$  и  $J_0$  совпадают, то дробь  $\frac{J_0}{J}$  обращается в единицу, и выражение (1) принимает «естественный» вид.

Найдём предел выражения (1) при  $J$  стремящемся к нулю и к бесконечности:

$$\lim_{J \rightarrow 0} W_{\text{несинх.}}(p, J) = \frac{\omega_0^3}{\frac{0}{J_0} p^3 + 3\omega_0 \frac{0}{J_0} p^2 + 3\omega_0^2 \frac{0}{J_0} p + \omega_0^3} = \frac{\omega_0^3}{3\omega_0^2 p + \omega_0^3} = \frac{\frac{1}{3}\omega_0}{p + \frac{1}{3}\omega_0} \quad (2)$$

$$\lim_{J \rightarrow \infty} W_{\text{несинх.}}(p, J) = \frac{\omega_0^3 \cdot \frac{J_0}{\infty}}{p^3 + 3\omega_0 p^2 + 3\omega_0^2 \frac{J_0}{\infty} p + \omega_0^3 \frac{J_0}{\infty}} = 0 \quad (3)$$

Из выражения (2) видно, что бесконечное занижение фактического момента инерции приводит к вырождению передаточной функции к виду апериодического звена первого порядка с постоянной быстродействия втрое меньше, чем у оригинальной системы.

Из выражения (3) видно, что бесконечное завышение фактического момента инерции приводит к вырождению передаточной функции в ноль.

При  $J_0 = 1$ :

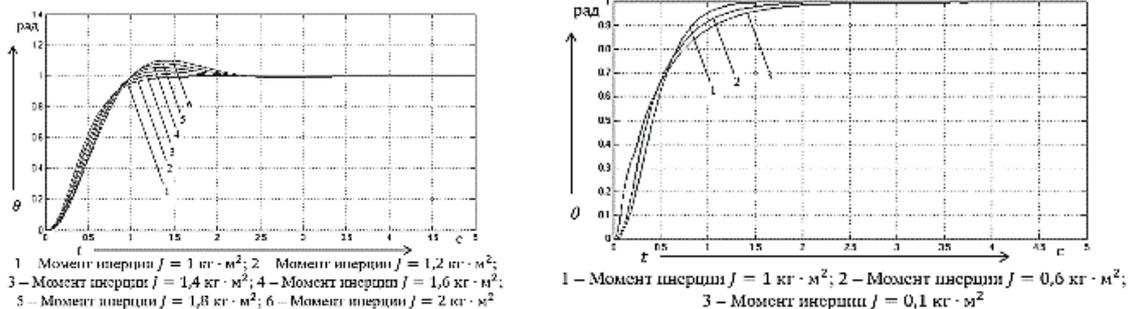


Рисунок 1 – Переходные процессы при различных значениях фактического момента инерции  $J$

Блок идентификатора определяет неизвестные параметры и передаёт рассчитанные коэффициенты регуляторами, однако он делает это с задержкой, равной длине одного программного цикла, а также его сигнал имеет дискретный характер.

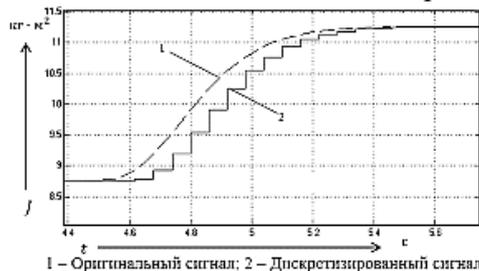


Рисунок 1 – Сравнение сигнала до и после прохождения блока идентификатора

При линейном изменении момента инерции в диапазоне от 0,08 до 11,3, при различных значениях периода дискретизации, переходные процессы выглядят следующим образом:

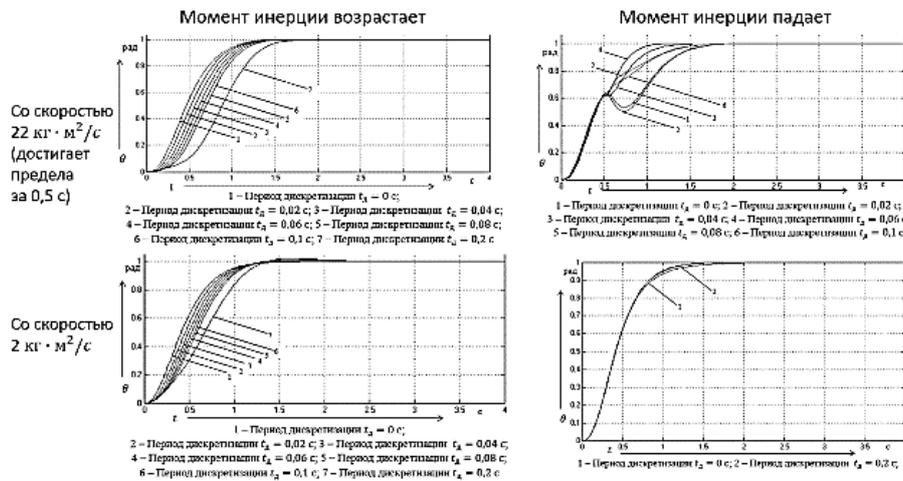


Рисунок 2 – Переходные процессы системы при различных периодах дискретизации и скоростях изменения момента инерции

Возрастание момента инерции при запаздывающих регуляторах вызывает завышение фактического момента инерции относительно оценённого, и наоборот и при падении. Скорость изменения так же играет роль, что видно на рисунке 3. Таким образом, наблюдает четыре различные ситуации.

Левая колонна графиков на рисунке 3 имеет схожесть с левым графиком рисунка 1. Переходный процесс явно состоит из двух сегментов: до и после первого обновления параметров регуляторов. До обновления переходный процесс происходит при постоянно увеличивающимся завышением действительного момента инерции относительно оценённого, а после – несоответствие приблизительно постоянное. Переходный процесс левого верхнего графика в отличие от левого нижнего не имеет перерегулирования, так как нарастание момента инерции завершается задолго до окончания переходного процесса.

Из рисунка 1 и выражения (2) можно было бы сделать вывод о том, что система должна быть более робастной к занижению фактического момента инерции относительно оценённого, однако правая колонна графиков рисунка 3 показывает лишь частичную справедливость этого предположения для случая с динамическим изменением момента инерции.

Переходные процессы на правом верхнем графике рисунка 3 в момент времени 0,5 с испытывают «удар», после которого продолжают, резко изменив направление движения. Частота дискретизации влияет на поведение, однако чёткой зависимости установить не удалось.

Момент времени 0,5 с соответствует моменту, в котором линейно возрастающий момент инерции перестаёт возрастать и становится постоянным, т. е. резко изменилась скорость изменения момента инерции. Таким образом, можно говорить о том, что в случае быстрого падения момента инерции, данная система чувствительна к значениям производных момента инерции выше первого порядка. Суть этого влияния, причины и его способы компенсации могут быть вектором дальнейших исследований.

### Заключение

В результате выполнения работы произведён синтез системы управления мехатронным модулем с адаптивным модальным регулятором и идентификатором момента инерции. Проведены исследования влияния изменения момента инерции на систему с модальным регулятором без адаптации и с адаптацией. Показано, что эффективность адаптивного регулятора зависит от величины временной задержки идентификатора.

Рассмотренная адаптивная система управления в трёх из четырёх рассмотренных ситуаций смогла адекватно и предсказуемо отработать задающее воздействие. Дополнительные неучтённые эффекты, вызванные динамическим изменением параметров, оказали слишком сильное воздействие в одной из ситуаций, из чего следует нужда отдельного исследования причин и поиск способов компенсации этих явлений.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Astrom, K. J. Adaptive control / K. J. Astrom, B. Wittenmark. – 2nd ed. – Mineola; New York: Dover Publication, Inc., 2008. – 573 с.
2. Минебаев, Н.Л. Вычисление моментов инерции звеньев промышленного робота в процессе его движения / Н.Л. Минебаев, А.И. Горькавый // Молодёжь и наука: : актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы VII Всерос. нац. науч. конф. молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08-12 апреля 2024 г.: в 3 ч. / А. В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2024. – Ч. 1. – 205-207 с.
3. Горькавый, А. И. Математические основы элементов, систем и процессов управления / А. И. Горькавый, М. А. Горькавый. – Комсомольск-на-Амуре, КнАГУ, 2016. – 72 с.

УДК 681.5

Петраков Никита Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Petrakov Nikita Alekseevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Alexey Valerievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Electronics and Innovative Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОКЛАВОМ AUTOCLAVE CONTROL SYSTEM DEVELOPMENT**

Аннотация. Система управления автоклавом создается с целью оптимизации работы с различными видами автоклавов, улучшения рабочих показателей, и соответствия требованиям безопасности при эксплуатации. Основные цели включают управление установкой в различных режимах работы с необходимой для технологического процесса точностью, защиту от аварийных ситуаций и предотвращение их, а также предоставление обслуживающему и эксплуатирующему персоналу актуальной и полной информации для анализа процессов, происходящих в установке. Ожидается, что внедрение системы управления автоклавом приведет к повышению эксплуатационной готовности установки, увеличению эффективности протекающих процессов за счёт автоматизированного контроля с высокой точностью, улучшению надежности и долговечности оборудования, сокращению ошибок персонала при эксплуатации. Продемонстрирована функциональная схема разрабатываемой системы.

Abstract. The autoclave control system is created in order to optimize work with various types of autoclaves, improve performance, and comply with all necessary safety requirements during operation. The main objectives include controlling the installation in various operating modes with the accuracy necessary for the technological process, protecting against and preventing emergencies, as well as providing maintenance and operating personnel with up-to-date and complete information for analyzing the processes occurring in the installation. It is expected that the introduction of an autoclave control system will lead to an increase in the

operational readiness of the installation, increase the efficiency of ongoing processes due to automated control with high accuracy, improve the reliability and durability of equipment, and reduce human errors during operation. The developed functional scheme is demonstrated.

Ключевые слова: Система управления, автоклав, управление оборудованием, электрическая схема, электроника, промышленность.

Keywords: Control system, autoclave, equipment management, electrical diagram, electronics, industry.

### **Введение**

Автоклав – это специализированное устройство, в рабочей камере которого осуществляется нагрев под давлением выше атмосферного. Нагрев с повышенным давлением необходим в различных отраслях: в медицине для стерилизации инструментов и приспособлений; в металлургии для очистки растворов металлов от примесей; в кулинарии для стерилизации, пастеризации продуктов и т.д.

С точки зрения схемотехники, автоклав является сложным техническим устройством, включающим в себя измерительные и предохранительные датчики, нагревательные элементы, двигатели насосов и вентиляторов. Для того, чтобы технологические процессы, протекающие в автоклаве, проходили качественно и безопасно, необходима система управления, которая будет осуществлять контроль и регулирование основных технических параметров работы.

Целью данной работы является разработка такой системы управления, которая позволит автоматизировать процессы и обеспечить точное поддержание необходимых условий работы. Для достижения этой цели необходимо изучить принципы работы автоклава, его основные параметры и требования к управлению процессом.

Основные функции, которые должны реализоваться разрабатываемым устройством:

1) Задание необходимых температуры, давления, и времени с панели управления пользователем в широком диапазоне;

2) Создание и сохранение рабочих программ во внутренней памяти устройства, удобное управление и редактирование;

3) Присутствие предохранительных клапанов, реакции на аварийные события, снимаемых с внутренних датчиков устройства;

4) Сохранение истории ошибок и предупреждений во внутренней памяти устройства с возможностью просмотра с панели управления и выгрузки данных по шине RS-485;

5) Сохранение измеренных рабочих параметров во внутренней памяти устройства с возможностью просмотра с панели управления и выгрузки данных по шине RS-485;

6) Автоматическое регулирование подачи пара, технологической воды, сжатого воздуха в систему;

7) Автоматическое управление нагнетающим насосом;

8) Точность регулирования и измерения основных рабочих параметров устройства: температуры – до 0,1 град. цельсия, давления – до 0,1 МПа;

9) Наличие жидкокристаллического дисплея для отображения данных;

10) Наличие клавиатуры для ввода данных пользователем;

11) Питание установки от бытовой электрической сети 220 В/50 Гц;

12) Блокировка открытия основной двери автоклава электромагнитным замком, определение положения двери с помощью концевого выключателя.

После тестирования и оптимизации разработанной системы мы сможем получить работающий прототип, способный управлять процессом автоклавирования с высокой точностью и надежностью.

Исследования в этой области имеют большое практическое значение для различных отраслей промышленности, где автоклавы используются для обработки материалов. Разработка системы управления автоклавом позволит повысить эффективность производства, улучшить качество обработки и снизить риски возможных аварийных ситуаций.

### Существующие системы управления автоклавом

На текущий момент на рынке существуют несколько запатентованных устройств с подобной системой управления. Например, патент «RU0000221245 – АВТОКЛАВ» [1] представляет медицинский автоклав со схожими функциями.

Представленное патентом устройство также имеет электронное автоматизированное управление, предохранительные узлы, датчики для измерения основных рабочих параметров. Однако, данный автоклав не обладает некоторыми функциями, которые присутствуют в разработанной системе управления, такими как:

- 1) Создание и сохранение рабочих программ во внутренней памяти устройства. В автоклаве существующего патента отсутствует возможность сохранения во внутренней памяти необходимых для пользователя циклов;
- 2) Обмен данными журналов работы и ошибок через сторонний интерфейс обмена данными;
- 3) Наличие жидкокристаллического дисплея для отображения данных. В автоклаве существующего патента индикация осуществлена с помощью светодиодных индикаторов.

### Функциональная схема предлагаемого решения

В качестве системы управления автоклавом предлагается использовать устройство, функциональная схема которого представлена на рисунке 1.

Блок SQ1 включает в себя концевой выключатель двери рабочей камеры. Выключатель подключен к цифровому входу контроллера DD5. При замыкании контакта выключателя, на цифровой вход контроллера поступит высокий логический уровень, сигнализирующий микроконтроллеру об открытии двери камеры.

Клавиатура панели управления SB1 состоит из четырёх кнопок, подключенных к цифровым входам контроллера. При нажатии кнопок, на соответствующие цифровые входы контроллера поступит высокий логический уровень [2].

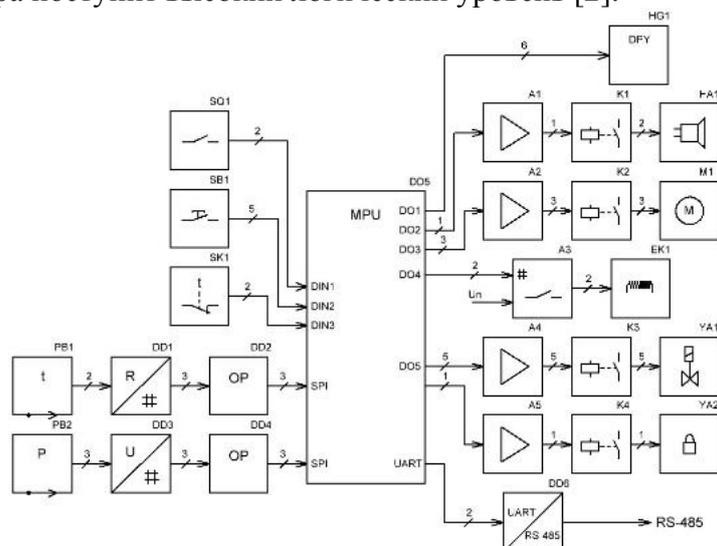


Рисунок 2 – Функциональная схема устройства

Защитные термостаты обозначены блоком SK1. Термостаты подключены к цифровым входам контроллера. При перегреве, нормально-замкнутый контакт термостата разомкнётся и на соответствующий цифровой вход контроллера перестанет поступать высокий логический уровень – система выдаст ошибку по перегреву определённого узла.

PB1 и PB2 – аналоговые датчики температуры и давления системы соответственно. Подключены датчики к аналогово-цифровым преобразователям DD1 и DD3, которые преобразуют аналоговые сигналы с датчиков в цифровые [3]. Далее, через блоки оптической развязки DD2 и DD4, преобразованные цифровые сигналы с датчиков отправляются на цифровые входы контроллера SPI.

Блок HG1 – это жидкокристаллический индикатор панели управления. Цифровой выход контроллера отправляет данные на индикатор для отображения персоналу.

Блок HA1 содержит в себе звуковой сигнализатор. В случае ошибки, предупреждения, или завершения цикла программы, контроллер выдаст сигнал с цифрового выхода для активации звукового оповещения. Блок HA1 подключается к микроконтроллеру через усилитель тока A1 и электромагнитное реле K1.

Двигатели насосов и вентилятора обозначены блоком M1, подключенным к микроконтроллеру через усилитель A2 и электромагнитное реле K2.

Нагревательные элементы EK1 используются в системе для нагрева. Блок электромагнитных задвижек YA1 выполняет коммутацию гидравлических элементов системы. Электромагнитный замок двери YA2 предназначен для блокирования доступа в рабочую камеру во время выполнения программы. Исполнительные устройства M1, YA1, YA2 коммутируются с помощью транзисторных блоков A1, A2, A4, A5 и релейных K1, K2, K3, K4. Управление работой нагревателей EK1 осуществляется и регулируется с помощью управляемого полупроводникового блока A3 [4].

Вывод данных о работе и ошибках системы на сторонние устройства осуществляется с помощью преобразователя интерфейса UART- RS-485 DD6 [5].

#### **Заключение**

На основании проведенного анализа и тщательно продуманной разработки системы управления автоклавом можно сделать вывод о её эффективности и удобстве использования. Предложенное решение позволяет значительно упростить и автоматизировать процесс работы автоклава, повысить контроль качества обработки, эффективность процессов стерилизации, и обеспечить безопасность работы персонала с оборудованием.

Реализация данной системы позволит повысить эффективность производства и улучшить качество конечной продукции.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. patents.google.com : Google Patents : сайт. – Маунтин-Вью, 2012 - . – Обновляется в течение суток. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU221245U1/ru> (дата обращения: 16.10.2024).
2. Кологривов, В.А. Основы автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств. Часть 1: учебное пособие / В.А. Кологривов. – Электрон. текстовые данные. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 120 с.
3. Власов, А.Б. Электроника. Аналоговые элементы и узлы электронной аппаратуры : учебное пособие / А.Б. Власов. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 264 с.
4. Кушнер, Д.А. Основы промышленной электроники : учебное пособие / Д.А. Кушнер. – Минск : РИПО, 2020. – 268 с.
5. Белов, А. В. Программирование микроконтроллеров для начинающих и не только / А. В. Белов. – Санкт-Петербург : Наука и Техника, 2016. – 352 с. – ISBN 978-5-94387-867-1. – EDN YSKIHН.

УДК 681.326.3

Рожкова Олеся Алексеевна, студент, Воронежский институт ФСИН России  
Rozhkova Olesya Alekseevna student, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

Лубенцов Александр Витальевич, кандидат географических наук, доцент, Воронежский институт ФСИН России

Lubentsov Alexander Vitalievich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ С ЯДРАМИ ARM И RISC-V COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF MICROCONTROLLERS WITH ARM AND RISC-V CORES**

**Аннотация:** В современных электронных устройствах микроконтроллеры являются ключевыми компонентами. Они используются как в схемах бытовой техники, например, в холодильнике, телевизоре или СВЧ-печах, так и в промышленных роботах: сварка, упаковка, строительство. На практике невозможно представить современную технику без встроенных контроллеров, вследствие чего рынок встроенных контроллеров имеет широкий выбор продуктов. В данной статье мы рассмотрим наиболее востребованные микроконтроллеры с ядрами ARM и RISC-5, сравним их характеристики и архитектуры, выявим преимущества и недостатки обеих сторон, влияющие на выбор управляющего устройства.

**Abstract:** In modern electronic devices, microcontrollers are key components. They are used both in circuits of household appliances, for example, in a refrigerator, TV or microwave ovens, and in industrial robots: welding, packaging, construction. In practice, it is impossible to imagine modern technology without embedded controllers, as a result of which the embedded controller market has a wide range of products. In this article, we will look at the most popular microcontrollers with ARM and RISC-5 cores, compare their characteristics and architectures, identify the advantages and disadvantages of both sides that affect the choice of a control device.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, ядро, процессор, ARM, RISC-V.

**Keywords:** microcontroller, core, processor, ARM, RISC-V.

### **Введение**

Микроконтроллеры – это компьютеризированные устройства небольшого размера. Их применение широко распространено в области управления различными электронными системами. В одном подобном чипе объединяются процессор, память и прочие периферийные устройства, например, преобразователи, таймеры, счетчики и другие. Производительность и эффективность микроконтроллера в главную очередь зависит от выбора ядра.

Одну из ведущих позиций на рынке данных элементов занимает архитектура ARM компании Arm Ltd, и относительно недавно вступило в игру ядро RISC-5, представляющее себя как инновационное решение в данной области. Рассмотрим их главные отличия и определим наилучший выбор для разработки электронных устройств.

### **Основная часть**

В конце 1980-х годов компания ARM Holdings создает микропроцессор, отличающийся высокой производительностью и энергоэффективностью, способный конкурировать с доминирующими на тот момент архитектурами CISC (Complex Instruction Set Computer). Основное назначение рассматриваемого устройства – использование в

персональных компьютерах. В настоящий момент данная архитектура имеет популярность среди портативных устройств, например, мобильные телефоны.

Как отмечают сами производители на официальном сайте, архитектура микроконтроллера ARM обладает рядом преимуществ.

Производительность. Совместимость. Эффективность. Благодаря небольшому и оптимизированному набору базовых инструкций архитектуры микроконтроллеры обладают высокой производительностью. Данное преимущество реализуется за счет легкого декодирования инструкций процессором, способностью устройства к одновременному выполнению нескольких команд в результате использования нескольких ядер процессора в одном кристалле. Совместимость микроконтроллеров обеспечивается стандартизированным набором инструкций, то есть различные реализации процессоров ARM могут выполнять один и тот же программный код.

Безопасность. Процессоры ARM оснащены 1) такой технологией, как изолированная и защищенная среда выполнения TrustZone, обеспечивающей защиту от несанкционированного доступа к данным и критическому коду; 2) блочным и страничным разбиением на разделы, что также защищает от несанкционированного доступа; 3) алгоритмами шифрования AES (Advanced Encryption Standard), обеспечивающими безопасность конфиденциальных данных; 4) безопасной загрузкой, то есть устройство будет включено только при использовании доверенного кода.

Разнообразные платформы. ARM предоставляет системные архитектуры, охватывающие несколько рынков. К ним относятся автомобильные, IoT (Internet of Things), мобильные, серверные и инфраструктурные рынки, а также рынок машинного обучения. Организована работа с партнерами по производству кремниевых компонентов и поставщиками операционных систем (ОС) по всей отрасли для разработки интерфейсов.

Широкая экосистема. ARM предлагает ценность партнерам и экосистеме (производители полупроводников, поставщики программного обеспечения, инструменты разработки, а также сообщество разработчиков), предоставляя базовую основу, на которой строится и внедряется экосистема. Архитектуры систем различаются в зависимости от рынка, позволяя использовать разнообразный спектр продуктов в его различных областях.

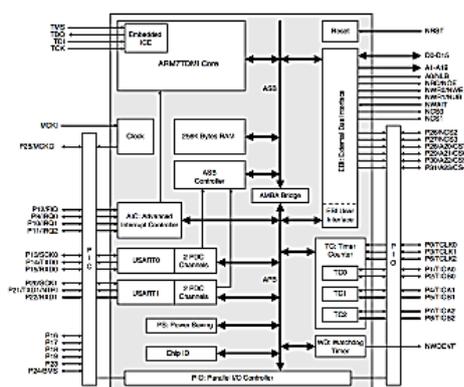


Рисунок 1 – Структурная схема микроконтроллера AT91R40008, выполненного на основе ядра ARM

- 1) высокая стоимость;
- 2) сложность разработки;
- 3) ограниченная доступность;
- 4) требование лицензии;

Помимо преимуществ, указанных производителем необходимо сказать, что рассматриваемые ядра имеют компактный размер благодаря высокой плотности размещения транзисторов, снижая энергетические ресурсы при разработке. Однако, при таком небольшом размере данные устройства обладают широким спектром периферийных устройств, включая таймеры, аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи (АЦП, ЦАП), а также коммуникационные интерфейсы. При этом функционал ядра может быть увеличен в результате подключения его к дополнительным внешним датчикам и дисплеям. Пример структурной схемы архитектуры микроконтроллеров ARM изображен на рисунке 1.

К недостаткам микроконтроллеров с ядром ARM относятся:

- 5) необходимость теплоотвода;
- 6) ограниченная поддержка операционных систем;
- 7) зависимость от сторонних инструментов.

В 2010 году в разработку микроконтроллеров вступает Калифорнийский институт в Беркли. Его цель – создать альтернативу существующим проприетарным архитектурам ARM и x86. В результате получается ядро RISC-V, обладающий отличительными чертами.

Данная архитектура открыта и свободна для использования, то есть поддается модификации, например, без лицензионных отчислений. Это реализуется благодаря модульным расширениям ISA (Instruction Set Architecture), включающих операции с плавающей запятой, векторное и криптографическое расширения, расширение сжатия и другие. Также в данном ядре возможно использование пользовательских инструкций. Из этого следует, что разработчики имеют право добавлять собственные инструкции. Важной характеристикой также является балансирующие производительность и энергопотребление в результате настраиваемой длины конвейера и кэширования.

Также, как и ядра ARM, архитектура RISC-V обладает функцией управления питанием, многоядерной конфигурацией и возможность интегрирования с периферийными устройствами типа АЦП, ЦАП, таймеры и другие.

Недостатки данных ядер включают:

- 1) меньшая распространённость;
- 2) меньшая экосистема;
- 3) ограниченная поддержка операционных систем;
- 4) ограниченная производительность;
- 5) несмотря на то, что базовая архитектура является бесплатной, некоторые производители могут взимать лицензионный сбор за свои реализации.

Подведем итоги сравнительного анализа в таблице 1.

Таблица 1 – Краткая сравнительная характеристика микроконтроллеров с ядрами ARM и RISC-5

Характеристика	ARM	RISC-5
Безопасность	Расширенные функции безопасности	Встроенные функции безопасности
Интегрирование периферийных устройств	Да	Да
Лицензирование	Закрытое	Открытое
Многоядерная конфигурация	Да	Да
Набор инструкций	Стандартизированный	Модульный
Настраиваемость	Ограниченная	Высокая
Область применения	Мобильные устройства встраиваемые системы, домашняя электроника, настольные компьютеры, серверы и другие	Встраиваемые системы, IoT, автономные транспортные средства и другие
Отключение тактовой частоты	Да	Да
Поддерживаемые операционные системы	GNU/Linux, BSD, QNX, Plan 9, Inferno, Solaris, iOS, Android, Firefox OS	Linux, Red Hat, ALT, Fedora, Debian
Производительность	Очень высокая	Высокая
Стоимость	Выше	Ниже
Управление питанием	Да	Да
Экосистема	Широкая	Ризвивающаяся

## **Заключение**

В результате сравнительного анализа мы делаем вывод, что микроконтроллеры с рассматриваемыми ядрами обладают отличительными преимуществами, но имеют собственные недостатки. Невозможно точно сказать, что микроконтроллеры с каким-либо ядром является абсолютно лучшим вариантом. При выборе конкретного микроконтроллера необходимо основываться на требованиях к конечному устройству. Необходимо рационально подходить к вопросу требуемой производительности, эффективности. Важно определить условия настраиваемости, используемую операционную систему, а также оценить необходимость лицензии и финансовые ресурсы.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Д.Козлов-Кононов. Процессорные ядра семейства Cortex. Сочетание высокой производительности и низкого энергопотребления Архивная копия от 24 ноября 2013 на Wayback Machine, журнал Электроника, вып. #8/2010
2. System Architectures // ARM URL: <https://www.arm.com/architecture/system-architectures> (дата обращения: 4 декабря 2024).
3. AT91 ARM Thumb Microcontrollers // AT91R40008 Summary URL: <https://www.keil.com/dd/docs/datashts/atmel/at91m40008.pdf> (дата обращения: 4 декабря 2024).
4. Мартин Т. Микроконтроллеры ARM7. Семейство LPC2000 компаний Philips. Вводный курс/Пер. С англ. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2006. – 240 с.: илл. + СВ. – (Серия “Мировая электроника”).
5. Развитие защищенной аппаратной платформы NE32 на базе архитектуры RISC-V для применения в составе доверенных микроконтроллеров / А. В. Нуйкин, А. С. Кравцов, Е. С. Васильев, А. В. Гордиенко // Наноиндустрия. – 2021. – Т. 14, № S7(107). – С. 76-78. – DOI 10.22184/1993-8578.2021.14.s.76.78. – EDN DMOFBN.
6. Корнев, С. А. Проектирование конфигурируемого 32-разрядного RISC-V микропроцессора / С. А. Корнев, В. В. Андреев // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2022. – № 4. – С. 122-129. – DOI 10.31114/2078-7707-2022-4-122-129. – EDN HMDPNU.

УДК 681.5.017

Савельева Алена Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savelyeva Alena Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Савельев Дмитрий Олегович, старший преподаватель, руководитель Центра робототехники Ресурсного центра Технопарка, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savelyev Dmitriy Olegovich, Senior Lecturer, Head of the Robotics Center of Technopark Resource Center, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ APPLICATION OF EXPERT SYSTEMS TO IMPROVE THE QUALITY OF PROCESS CONTROL**

Аннотация. Основное внимание в статье уделено повышению качества управления технологическими процессами. В качестве объекта регулирования был рассмотрен технологический процесс мелкосерийного изготовления заготовок различной формы посредством литейного процесса. Процесс изготовления изделий посредством литья сложен ввиду длительности, обусловленной физическими процессами, а также из-за тяжелых

условий внешней среды. В статье проводится сопоставление коэффициентов загруженности технологических операций при работе различных систем управления. Приведено сравнение результатов симуляции дискретно-событийной модели, что позволяет оценить эффективность внедрения экспертной системы управления при автоматизации технологических операций.

Abstract. The main focus of the article is on improving the quality of technological process control. As an object of regulation the technological process of small-scale production of blanks of various shapes by means of foundry process was considered. The process of manufacturing of products by means of casting is complicated due to the duration caused by physical processes, as well as due to severe environmental conditions. The paper compares the workload coefficients of technological operations under different control systems. The comparison of the results of simulation of discrete event model is given, which allows to estimate the efficiency of implementation of expert control system for automation of technological operations.

Ключевые слова: системы автоматического управления, экспертные системы, имитационное моделирование, литейное производство, дискретно-событийные системы.

Key words: automatic control systems, expert systems, simulation modeling, foundry, discrete event systems.

### **Введение**

Ежегодно в условиях повышения требований к предприятиям и к выпускаемой продукции предприятия для достижения необходимых показателей проводят различные мероприятия по внедрению и совершенствованию систем автоматического управления (далее САУ). В рассматриваемом литейном производстве протекающие физические процессы характеризуются экстремально опасной внешней средой.

В статье приводится использование класса математических моделей, именуемых системами массового обслуживания. Такие системы характеризуются нелинейностью технологических процессов и имеют большое количество операций, зависящих от предыдущих. Классически, задачи планирования производственных процессов решаются с применением ряда стандартных подходов, для которых характерно наличие статически определенных интервалов времени реализации заданной операции и необходимостью остановки технологических линий для перебалансировки под новые виды продукции. Применение экспертных систем управления в подобных технологических операциях для управления ими позволит сократить время простоя оборудования.

### **Основная часть**

Была реализована имитационная модель технологического процесса литейного производства, выполненная в среде Simulink программы Matlab. Классический обобщенный алгоритм управления очередностью технологических циклов [1] можно представить посредством модели производственной линии, показанной на рисунке 1. При этом необходимо отметить, что для формирования дискретно-событийной части модели рассматриваемой системы, используется пакет SimEvents [2], а распределение управлением очередностью описывается на основе принципов очередей MES. Модель технологического процесса литейного производства (ТПЛП), описывает основные технологические операции в виде блоков подсистем и носит линейный характер, при этом каждая операция жизненного цикла изделия включает в себя необходимые параметры известных физических законов.

Для реализации имитационной модели был рассмотрен типовой технологический процесс литейного производства. В качестве блока управления реализована многоконтурная система управления. Типовая САУ позволяет управлять заготовками в

каждой технологической операции. Для экспертной системы управление основывается на временных интервалах и параметрах изделия каждого типа.

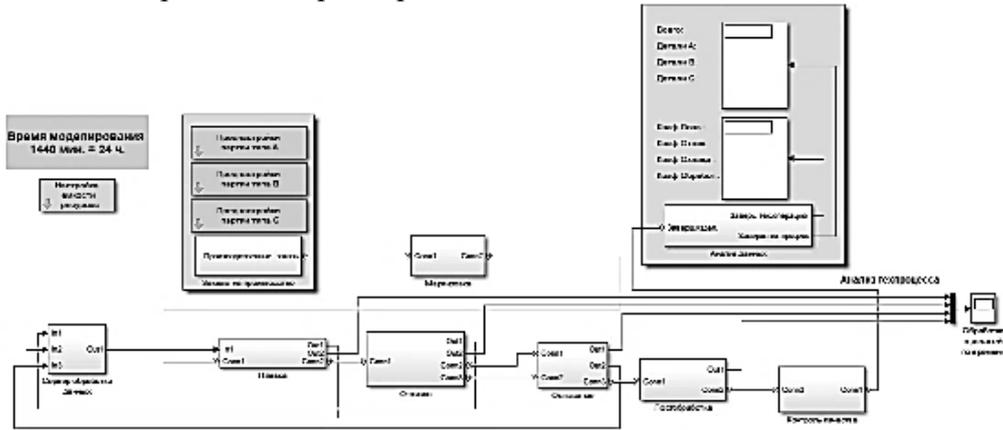


Рисунок 1 – Обобщенная дискретно-событийная модель ТПЛП

Задающий сигнал для систем, формируется путем формирования заказа на каждый из типов выпускаемых изделий. Типовой процесс изготовления деталей в описанных моделях ТПЛП, регулируется на операциях расплавления, отливки и охлаждения материала при помощи ограниченного количества изложниц. При выполнении условия отсутствия форм в конкретной операции, сервис приостанавливает технологическую операцию отливки. Блок, регулирующий количество изложниц и имитирующий их перемещение в технологических операциях, представлен на рисунке 5.

Работоспособность представленных моделей представлена на вычислительном эксперименте. Согласно условиям протекания ТП, наполненные формы перемещаются в зону охлаждения, где жидкий металл [3] кристаллизуется и остывает до заданной температуры [4]. Для определения точных параметров, влияющих на переходные процессы жизненного цикла изделий, необходимо вычислить основные технологические параметры, такие как время охлаждения и относительная погрешность темпа охлаждения для каждого типа заготовки. Выводом подсистемы сбора данных являются графики, иллюстрирующие такие технологические параметры как загруженность операций ТП. На рисунках 2 и 3 представлены переходные процессы, описывающие коэффициенты использования производственных операций.

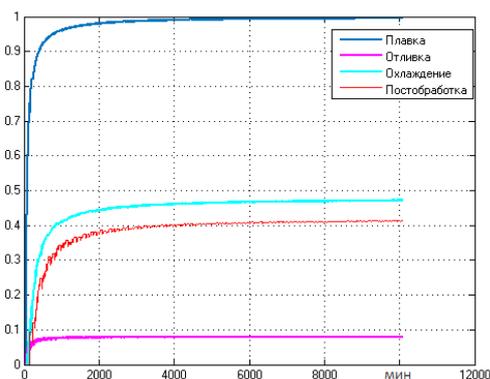


Рисунок 2 – Коэффициенты загрузки технологических операций при классическом управлении

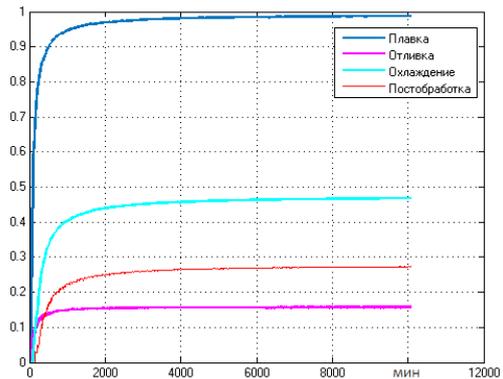


Рисунок 3 – Коэффициенты загрузки технологических операций с применением экспертной системы управления

Исходя из приведенного рисунка 2, можно сделать вывод, что коэффициент использования сервиса плавления близок к единице. При заданном классическом управлении и потоке заказов, САУ не обеспечивает оптимального управления. Ввиду этого

увеличены простой сервиса отливки, что влияет на следующие за ним линейно технологические операции.

Из графика, приведенного на рисунке 3 видно, что коэффициент использования сервиса стал ниже. Это означает, что применение экспертной системы обеспечивает распределение нагрузки технологических операций, путем варьирования заказов. За счет этого получен прирост производительности по сравнению с применением классических алгоритмов управления [5]. Также повысился коэффициент использования сервиса отливки, тем самым увеличив свою пропускную способность.

### **Заключение**

Проведенные исследования на имитационной дискретно-событийной модели и полученные переходные оценки качества нагрузки отдельных технологических операций свидетельствуют об актуальности применения интеллектуальных технологий для применения их на производстве. Продемонстрированная настроенная экспертная система позволяет уменьшить временные задержки системы, тем самым позволяя сократить время переходных процессов. Также применение экспертной системы позволяет исключить остановку производства для перебалансировки и настройки отдельных технологических операций при изменении, либо внесении дополнительных параметров новой выпускаемой продукции.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Human Factor Modelling in the Collaborative Robotic Process Control System / M. A. Gorkavyu, Y. A. Tyurina, Y. S. Ivanov, D. M. Grabar // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) : Proceedings, Sochi, 15–19 мая 2023 года. – Sochi: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023. – P. 954-960. – DOI 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139013. – EDN QOCFSC.
2. Возможность применения DES-технологии для минимизации длительности задержек системах управления / С. Е. Мельникова, А. С. Савельева, Е. А. Пазий, Д. О. Савельев // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 240-242. – EDN RAEUIT.
3. Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, 1993.
4. Лебедев, В. М. Отливки из алюминиевых сплавов / В. М. Лебедев, А. В. Мельников, В. В. Николаенко – Москва : Машиностроение, 1970. 216 с.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024614383 Российская Федерация. «Нечеткий логический регулятор для экспертной системы управления технологическими операциями» : № 2024613052 : заявл. 15.02.2024 : опубл. 22.02.2024 / Д. О. Савельев, А. С. Савельева, А. С. Гудим ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет». – EDN EUFOCA.

УДК 681.5.017

Савельева Алена Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savelyeva Alena Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Сбитнев Никита Романович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sbitnev Nikita Romanovich, student, Komsomolsk-na-Amuree State University

Савельев Дмитрий Олегович, старший преподаватель, руководитель Центра робототехники Ресурсного центра Технопарка, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savelyev Dmitriy Olegovich, Senior Lecturer, Head of the Robotics Center of Technopark Resource Center, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАПАЗДЫВАНИЯ НА ДИНАМИКУ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА**

### **APPLICATION OF SIMULATION MODELING TO REVEAL THE INFLUENCE OF TRANSPORT LAG ON THE DYNAMICS OF OBJECT MOTION**

Аннотация. В статье рассмотрена имитационная модель динамики движения транспортного средства при его торможении, что позволяет производить исследования временных задержек. Исследование влияния нелинейностей в динамических системах управления не только является актуальной задачей с точки зрения контроля тормозной системы объекта регулирования, но и позволит создавать интеллектуальные системы управления для уменьшения тормозного пути при экстренном торможении.

Abstract. The paper considers a simulation model of the dynamics of vehicle motion during its braking, which allows to perform studies of time delays. The study of the influence of nonlinearities in dynamic control systems is not only an actual task from the point of view of controlling the braking system of the control object, but also will allow to create intelligent control systems to reduce the braking distance during emergency braking.

Ключевые слова: система управления, дискретно-событийные системы, транспортное средство, нелинейный элемент, имитационная модель.

Key words: control system, discrete event systems, vehicle, nonlinear element, simulation model.

#### **Введение**

В настоящее время широко распространены различные системы регулирования, обеспечивающие контроль управления в динамических объектах, таких как транспортные средства. Однако наличие временных задержек в системе объекта управления может вызывать сбои в работе критически важных систем, обеспечивающих динамический контроль параметров. Задержки в виде транспортного запаздывания негативно влияют на системы контроля транспортного средства. Причиной возникновения таких нелинейностей могут быть как один, так и совокупность различных факторов. Сопутствующими факторами могут являться помехи в каналах управления, гидравлические лаги и иные механические нелинейности. В системах контроля, связанных с тормозной системой, временные задержки могут находиться в каналах шины управления из-за его несовпадения в управлении механическими элементами объекта. В результате таких задержек система управления теряет способность быстро адаптироваться к изменениям дорожных условий, что приводит к увеличению риска возникновения аварийных ситуаций. Для разработки системы управления, а также реализации пакетной передачи данных в коммуникационных каналах системы управления, необходимо разработать имитационную модель объекта управления.

### Основная часть

В представленной имитационной модели, разработанной ранее, учитываются физическая природа процессов линейного движения объекта и параметры, такие как: проскальзывание колеса, желаемое проскальзывание и крутящий момент колеса. На рисунке 1 приведена имитационная модель транспортного средства с антиблокировочной системой колес [1].

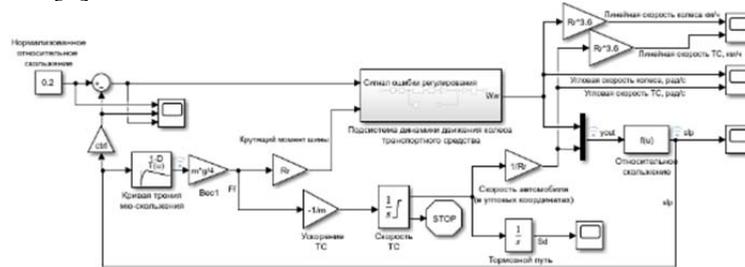


Рисунок 1 – Имитационная модель антиблокировочной системы транспортного средства

Для определения влияния на систему временных задержек в каналах управления, ранее была смоделирована система обмена сообщениями на основе дискретно-событийных технологий (далее DES-технологий) [2]. Такая технология позволяет реализовать имитацию отправки и принятия пакетов данных от датчиков ТС на контроллер, обеспечивающий регулирование ABS.

Обобщенная схема имитационной модели движения транспортного средства с управлением ABS и наличием подсистемы передачи данных представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Имитационная модель движения транспортного средства с подсистемой передачи данных

Из представленного рисунка 2 видно, подсистема передачи данных обеспечивает наличие транспортного запаздывания в каналах управления [3]. Подсистема передачи данных, используемая ранее, представляет собой прием и передачу данных с контроллера к исполнительному механизму (гидравлическим линиям системы) и представлена на рисунке 3.

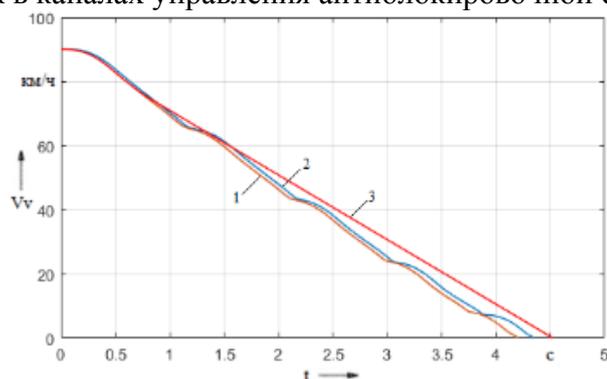


Рисунок 3 – Подсистема передачи данных

Такая упрощенная подсистема передачи данных представляет собой дискретно-событийную систему управления передачи информации, а использование метода организации данных позволяет достоверно имитировать пакетную передачу в виде последовательности отдельных операций [4].

Несмотря на представленные данные, такой подход не описывает ранжирование пакетов данных, не производит их выборку арбитражем, а также не учитывает фоновый трафик от посторонних вторичных систем.

Результаты моделирования отражены на рисунках 4-5, где приведены сравнительные кривые переходных процессов движения транспортного средства с наличием и отсутствием задержек в каналах управления антиблокировочной системы.

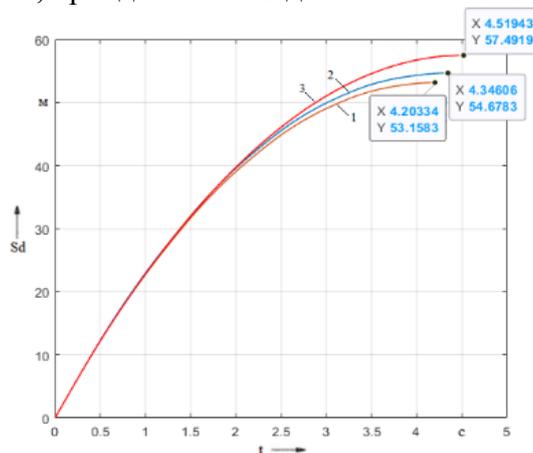


1 – ABS без задержек в каналах управления;

2 – ABS с наличием задержек в каналах управления; 3 – объект без ABS;

Рисунок 4 – Переходной процесс линейной скорости движения транспортного средства

Из рисунка 4 следует, что наличие задержек при передаче информации негативно влияет на процесс торможения ТС, и, следовательно, увеличивается время и протяженность тормозного пути, пройденного ТС до полной остановки.



1 – ABS без задержек в каналах управления;

2 – ABS с наличием задержек в каналах управления; 3 – объект без ABS;

Рисунок 5 – График зависимости тормозного пути транспортного средства от времени

На графике (рисунок 5) представлены маркеры, обозначающие конец тормозного пути (S1 – без задержек в каналах управления, S2 – с наличием задержек в каналах управления ABS, S3 – объект без ABS), а также конечное суммарное время, затраченное на полную остановку ( $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$  соответственно) для обоих случаев рассматриваемых процессов.

При увеличении временных задержек в системах коммуникации, кривая торможения объекта управления стремится к кривому объекту без наличия антиблокировочной системы, а при достаточно больших объемах информации и увеличении количества передаваемых пакетов данных, создаваемых второстепенными системами, увеличится интервал задержек на каждую систему в отдельности, что может увеличить время переходного процесса

### Заключение

Приведенные исследования и представленные переходные процессы, полученные эмпирическим путем, являются актуальными для данной работы. Полученные результаты могут служить основными показателями при сопоставлении качества переходных процессов в различных режимах работы системы управления. Такой подход позволит создать и оптимизировать систему регулирования, а также реализовать необ-

ходимые законы управления. В свою очередь это позволит уменьшить временные задержки системы, повысив быстродействие механизмов объекта управления и тем самым сократить время переходных процессов.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Применение дискретных и непрерывных сигналов при имитационном моделировании физических объектов / Ф. А. Шапараев, Р. А. Носаченко, А. А. Литвинцева, Д. О. Савельев // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 296-298. – EDN JYVMWU.
2. Возможность применения DES-технологии для минимизации длительности задержек системах управления / С. Е. Мельникова, А. С. Савельева, Е. А. Пазий, Д. О. Савельев // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 240-242. – EDN RAEUIT.
3. Бобровский, Н. П. Исследование влияния транспортного запаздывания в системах автоматического управления / Н. П. Бобровский, Р. Е. Хохлов, Д. О. Савельев // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 178-180. – EDN MEZSVN.
4. Особенности наличия задержек при передаче данных в каналах управления объекта повышенной опасности / А. А. Литвинцева, Е. А. Пазий, А. С. Савельева, Д. О. Савельев // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 194-195. – EDN GHСMMK.

УДК 681.5.017

Сбитнев Никита Романович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sbitnev Nikita Romanovich, student, Komsomolsk-na-Amuree State University

Савельев Дмитрий Олегович, старший преподаватель, руководитель Центра робототехники Ресурсного центра Технопарка, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savelyev Dmitriy Olegovich, Senior Lecturer, Head of the Robotics Center of Technopark Resource Center, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ IMPROVING THE ACCURACY OF SIMULATION MODEL BASED ON PHYSICAL MECHATRONIC SYSTEM**

Аннотация. В статье рассмотрена возможность повышения точности математического описания и достоверности результатов моделирования объекта со сложной кинематической структурой. Приводится пример имитационной модели подсистемы расчета параметров серводвигателей для платформы Гью-Стюарта основанной на вращательных приводах.

Abstract. The article considers the possibility of increasing the accuracy of mathematical description and reliability of the results of modeling an object with a complex kinematic structure. An example of simulation model of the subsystem for calculating the parameters of servomotors for the Hue-Stewart platform based on rotary drives is given.

Ключевые слова: система управления, моделирование, серводвигатель, повышение точности, имитационная модель.

Key words: control system, modeling, servomotor, accuracy improvement, simulation model.

## Введение

В современных условиях развития технологий всё чаще начинают появляться робототехнические модули и мехатронные системы со сложной кинематической структурой, способные выполнять сложные пространственные перемещения, а также обеспечивающие высокую степень контроля над положением и ориентацией объекта в пространстве. Для исследования подобных объектов целесообразно использовать инструменты для создания имитационной модели ввиду дороговизны и сложности рассматриваемых систем. Имитационные модели позволяют детально исследовать различные сценарии работы объекта, оптимизировать их конструкцию и управление, а также предвидеть и предотвращать потенциальные проблемы, которые могут возникнуть при эксплуатации. Однако для получения достоверной модели, необходимо учитывать множество различных параметров, включающих в себя учет геометрических параметров, расчета кинематики и прочее. Для примера рассмотрим имитационную модель платформы Гью-Стюарта, основанную на приводах вращательного типа с рассчитанными геометрическими параметрами и кинематикой.

## Основная часть

Для проведения исследований на имитационной модели, отражающей реальное поведение объекта управления, необходимо повысить точность её математического описания, включающую в себя параметры серводвигателя [1]. Уточнение параметров серводвигателей необходимо для точной настройки системы управления, предсказания поведения системы в различных условиях эксплуатации, что обеспечит эффективное проектирование и оптимизацию системы управления. Это позволит предсказывать поведение системы при изменении нагрузки, скорости или других рабочих параметров, оказывающих влияние на механические части роботизированной платформы, что важно для оценки производительности системы.

Для разработки электромеханической системы и её интеграции в имитационную модель роботизированной платформы, коллективом авторов было произведено моделирование параметров подсистемы с использованием блоков из библиотеки Simscape Electrical и Simscape Driveline пакета Simulink [2].

На рисунке 1 показана подсистема серводвигателя.

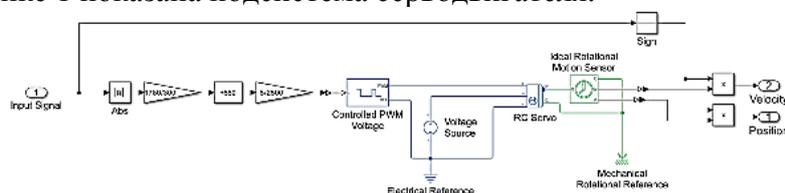


Рисунок 1 – Подсистема серводвигателя

На вход подсистемы поступает входной сигнал в виде задания угла поворота рычага в градусах. На вход системы могут поступать как положительные, так и отрицательные значения. Однако, из-за наличия электромеханической составляющей, система не может принимать отрицательные значения [3]. Для корректной работы и обработки данных, необходимо сохранять знак, показывающий направление поворота рычага и подавать на вход непосредственного управления сервомоторами абсолютное значение угла. При помощи тривиального преобразования исходного сигнала подсистемы, сиг-

нал конвертируется в величину, которая поступает на вход блока «Controlled PWM Voltage». Этот блок представляет собой источник напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) и преобразует полученную величину в импульсный сигнал, который поступает на вход блока «RC Servo», содержащий в себе параметры выбранного серводвигателя (рисунок 2).

Block Parameters: RC Servo

Settings	Description	VALUE	
<b>Electrical Torque</b>			
> Stall torque		15.29574319467	cm*kg
> Time to travel 60 degrees (n...		0.169491528	s
> Corresponding nominal volta...		12	V
> Rotational range		[0, 300]	deg
> Corresponding pulse widths		[550, 2330]	us
<b>Control</b>			
> Pulse threshold		3	V
> Signal input resistance		18	kOhm
> Angle resolution		0.29	deg
> Angle measurement error		0	deg
<b>Mechanical</b>			
> Backdrive torque (unpowered)		0.5	cm*kg
> Gear reduction ratio		254	
> Rotor inertia		0.01	cm^2*g
> End-stop angles		[-5, 305]	deg
> End-stop stiffness		1e6	N*m/rad
> End-stop damping		0.01	N*m*s/rad

Рисунок 2 – Параметры блока «RC Servo»

Блок «RC Servo» позволяет гибко настраивать параметры модели сервопривода, такие как максимальный угол отклонения, скорость вращения и время отклика. Это дает возможность исследовать влияние различных параметров на поведение системы и оптимизировать их для конкретных задач.

На вход блока «RC Servo» помимо ШИМ сигнала также подается напряжение питания от блока «Voltage Source», имитируя замкнутую электрическую цепь. Блок «Voltage Source» реализует источник напряжения с компонентами постоянного, переменного тока. Отрицательный контакт подается на вход блока «Electrical Reference», который представляет собой электрическое заземление. Все блоки, которые связаны непосредственно с электрической составляющей модели, должны иметь хотя бы одно заземление для корректной работы системы.

После преобразования электрического сигнала, на выходе блока «RC Servo» образуется сигнал, представляющий собой изменение положения передаточного механизма и вала двигателя, который поступает на вход блока «Ideal Rotational Motion Sensor», который представляет собой идеальный механический датчик вращательного движения.

Датчик является идеальным, поскольку он не учитывает инерцию, трение, задержки, потребление энергии и т. д.

Для проверки работоспособности модели рассмотрим используем заранее рассчитанные углы поворота в градусах:  $\alpha_1=38.646$ ,  $\alpha_2=0.89$ ,  $\alpha_3=0.89$ ,  $\alpha_4=-2.02$ ,  $\alpha_5=5.44$ ,  $\alpha_6=66.01$ . Результаты моделирования представлены на рисунках 3-4

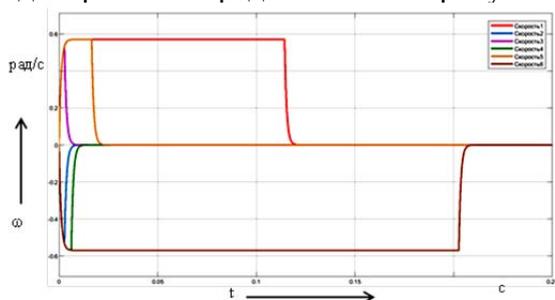


Рисунок 3 – Поворот серводвигателей по скорости

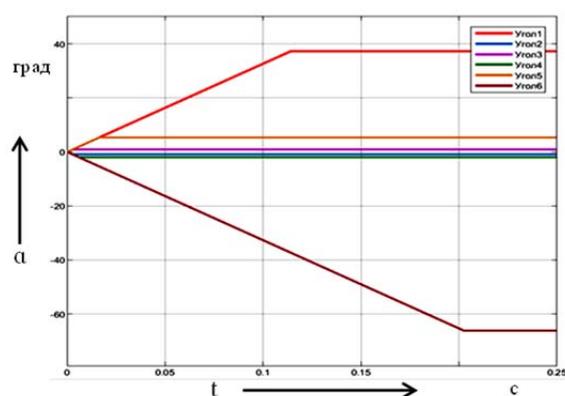


Рисунок 4 – Углы поворота серводвигателей

Исходя из полученных графиков можно сделать вывод, что скорость поворотов серводвигателей соответствует действительности, а также рассчитанные углы соответствуют повороту серводвигателей, с учетом что второй, четвертый и шестой угол идут с отрицательным значением, поскольку из-за конструкции им необходимо двигаться в противоположную сторону [4].

### Заключение

Проведенное исследование позволяет детально изучить и проанализировать кинематику и динамику движения платформы, принимая во внимание все аспекты работы серводвигателя. Полученные результаты показывают, что система работает корректно, с высокой точностью, и подтверждают правильность настройки системы управления. В последующем систему можно использовать для исследований в различных условиях с учетом воздействия помех, таких как повышенная нагрузка, вибрация, перепады температуры и другие внешние факторы, которые могут повлиять на работу системы.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Особенности моделирования систем управления сложными объектами, требующими учёта геометрических параметров / С. П. Черный, Д. О. Савельев, Н. Р. Сбитнев, П. О. Саяпина // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2024. – № 1(73). – С. 4-10. – EDN WKOYPI.
2. Прямая и обратная задача кинематики для платформы Стюарта, используемой для стабилизации нивелира / Н. Р. Сбитнев, К. П. Петровский, Д. О. Савельев, С. П. Черный // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 272-275. – EDN OWCSMJ.
3. Improving the Functioning of the Cybernetic Control System of the Mechatronic Module of the Robotic Complex / A. I. Gorkavyu, M. A. Gorkavyu, M. A. Melnichenko, A. V. Berkh // Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems. Proceedings of 10th Computer Science On-line Conference 2021, Vol. 3 : Proceedings of 10th Computer Science On-line Conference, online, 21 апреля – 02 2021 года. – online, 2021. – P. 702-709. – DOI 10.1007/978-3-030-77448-6\_67. – EDN JEADBS.
4. Дербенев, А. А. Оценка эффективности методов настройки регуляторов мехатронных модулей в составе многоканальной системы / А. А. Дербенев, А. И. Горькавый // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 217-220. – EDN ORWYIL.

УДК 004.94:621.311

Сбитнев Никита Романович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sbitnev Nikita Romanovich, student, Komsomolsk-na-Amuree State University

Черный Сергей Петрович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Cherny Sergey Petrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

**ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ  
НА ПЕРЕГОНЕ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ  
APPROACHES TO OPTIMIZATION OF ELECTRIC POWER CONSUMPTION  
AT THE CROSSING OF THE FAR EAST RAILWAY USING INTELLIGENT SYSTEMS**

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к оптимизации энергопотребления на железнодорожном транспорте с использованием интеллектуальных систем. Оценка влияния различных факторов, таких как климатические условия, масса поезда, рельеф местности и технические характеристики транспортных средств, проводится с целью разработки эффективных методов снижения энергозатрат.

Abstract. The article considers modern approaches to energy consumption optimization in railway transport using intelligent systems. The influence of various factors such as climatic conditions, train weight, terrain and technical characteristics of vehicles is assessed in order to develop effective methods of energy consumption reduction.

Ключевые слова: энергопотребление, железнодорожный транспорт, интеллектуальные системы, оптимизация, энергоэффективность

Key words: energy consumption, railway transport, intelligent systems, optimization, energy efficiency.

**Введение**

Современная железнодорожная транспортная система России, в том числе Дальневосточная железная дорога (ДВЖД), ежегодно сталкивается с ростом потребностей к энергоэффективности и экономичности эксплуатации. Несмотря на это, увеличение объемов перевозок и усложнение транспортной инфраструктуры, требует применения современных интеллектуальных технологий для управления энергопотреблением. Это побуждает на использование новых технологий, таких как: системы мониторинга, прогнозирования и оптимизации, основанных на работе интеллектуальных систем и обработке больших данных.

Современные подходы к оптимизации энергопотребления на железнодорожном транспорте охватывают широкий спектр инновационных решений. К числу таких подходов относятся системы управления движением поездов, которые обеспечивают энергоэффективность за счёт оптимизации скоростных режимов и графиков движения. Кроме того, технологии рекуперации энергии позволяют использовать кинетическую энергию торможения для повторного ввода в энергосистему, что существенно снижает общий уровень потребления электроэнергии. С учётом всех вышерассмотренных вариантов для снижения уровня электропотребления коллективом авторов предлагается разработать интеллектуальную систему, которая интегрирует современные методы оптимизации энергозатрат.

**Основная часть**

Создание интеллектуальной системы управления энергопотреблением на Дальневосточной железной дороге (ДВЖД) представляет из себя сложный и многоэтапный процесс, включающий в себя сбор данных и анализ их влияния на энергопотребление, а

также создания на их основе нечеткой системы управления электропотреблением. На первом этапе формируется система мониторинга, обеспечивающая сбор информации о ключевых параметрах, влияющих на энергопотребление [1]. К таким параметрам относятся климатические условия (температура, влажность, осадки, ветер), масса поезда (включая массу состава и груза), рельеф местности (уклоны, спуски, кривые участки пути), технические характеристики локомотивов и вагонов (мощность двигателей, коэффициенты сопротивления движению), а также режимы эксплуатации (скорость движения, продолжительность стоянок, интенсивность разгона и торможения) [2].

На следующем этапе проводится исследование взаимосвязи указанных параметров с уровнем энергопотребления. Основная задача этого этапа – установить влияние различных факторов, связанных с движением поездов, техническими характеристиками локомотивов, профилем пути и внешними условиями, на потребление электроэнергии.

Последующим этапом является разработка самой модели системы управления потреблением электроэнергии на железнодорожном перегоне. Эффективность такой системы зависит от точности моделирования различных компонентов, что позволяет прогнозировать потребление энергии и оптимизировать его на основе множества факторов.

При моделировании системы управления важно учитывать типы локомотивов, такие как электрические или тепловозы, с различными характеристиками мощности, коэффициентом полезного действия (КПД) и возможностями рекуперации энергии. Кроме того, необходимо моделировать массу подвижного состава и его распределение в составе поезда, поскольку эти параметры влияют на тяговое усилие и, соответственно, на потребление энергии [3]. Помимо этого, важно учитывать инфраструктуру железной дороги, включающей в себя геометрические характеристики пути, такие как уклон, радиусы кривых и длина прямых участков. Эти параметры напрямую влияют на энергопотребление, так как преодоление уклонов требует дополнительных усилий для поддержания нужной скорости. Также необходимо учитывать системы сигнализации и управления движением, которые регулируют скорость поездов и предотвращают перегрузки, влияя на режимы движения и, как следствие, на потребление энергии [4].

Не менее важным является моделирование климатических и внешних условий, которые существенно влияют на эффективность потребления энергии. Температурные колебания и погодные условия, такие как снегопады, морозы, дождь и сильный ветер, могут увеличивать сопротивление движению и повышать энергозатраты, поскольку для преодоления этих факторов требуется дополнительная энергия [5]. Сезонные изменения также играют важную роль: зимние условия требуют дополнительных затрат энергии на обогрев, а в летний период повышенное сопротивление из-за высокой температуры воздуха может также потребовать увеличения потребления энергии для поддержания нормальной работы системы.

Такая система позволит не только собирать данные о потреблении электроэнергии в зависимости от различных факторов, но и активно воздействовать на этот процесс с помощью нечеткой системы управления. Это обеспечит возможность корректировки и оптимизации энергозатрат в реальном времени, принимая во внимание изменения внешних условий и технических параметров, что повысит эффективность эксплуатации железнодорожного транспорта.

### **Заключение**

Эффективное управление энергопотреблением в железнодорожном транспорте является важным аспектом повышения его экологической устойчивости и экономической целесообразности. Разработка и внедрение интеллектуальных систем, основанных на современных технологиях мониторинга, анализа больших данных и методов оптимизации, позволяет значительно улучшить энергетическую эффективность эксплуатации железнодорожного транспорта. Современные подходы к решению задач энергосбережения на железных дорогах создают перспективы для дальнейшей оптимизации

процессов, что способствует улучшению общей эффективности транспортной инфраструктуры

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бурченков, В. В. Экономия электроэнергии на перегоне / В. В. Бурченков // Энергоэффективность и экологическая безопасность на транспорте, в промышленности и в строительстве : материалы Международной научно-практической конференции, Гомель, 15–16 декабря 2011 года / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский государственный университет транспорта; Под общей редакцией А.Б. Невзоровой. – Гомель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет транспорта", 2011. – С. 41-42. – EDN CAGJWC.
2. Сулим, А. А. Расчет электроэнергии рекуперации электрифицированного городского транспорта при установке накопителя на тяговой подстанции / А. А. Сулим // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2014. – № 4. – С. 30-41. – EDN STHDQB.
3. Петраков, Д. И. Исследование параметров ходовой динамики локомотивов методами математического моделирования / Д. И. Петраков, И. А. Кожухов, Т. В. Ветошко // Совершенствование транспортных машин : Сборник научных трудов / Под редакцией В.В. Рогалева, В.И. Воробьева. – Брянск : Брянский государственный технический университет, 2019. – С. 226-231. – EDN WBDJHD.
4. Соловьев, В. А. Анализ существующих методов поиска и обнаружения неисправностей линии электропередач / В. А. Соловьев, К. К. Славнов // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению : Материалы V Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 06–11 декабря 2021 года / Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.), А.С. Гудим, Н.Н. Любушкина. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 80-82. – EDN DKOBBC.
5. Программа моделирования температуры провода и потерь мощности на основе учета режимных и атмосферных факторов / А. Б. Баламетов, Э. Д. Халилов, М. П. Байрамов, К. А. Агаханова // Программные продукты и системы. – 2018. – № 2. – С. 396-402. – EDN XYOAWT.

УДК 620.92

Столярова Светлана Владимировна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Stolyarova Svetlana Vladimirovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Столяров Андрей Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Stolyarov Andrey Aleksandrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Кузьмин Роман Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kuzmin Roman Vyacheslavovich, candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АГРОКОМПЛЕКСА DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM FOR AN AGRICULTURAL COMPLEX**

Аннотация. В данной работе мы предлагаем нестандартный подход к решению проблемы обеспечения электроэнергией агрокомплекса. Процесс исследования включает в се-

бя выбор подходящего оборудования, расчет необходимого количества и мощности оборудования выработки энергии.

Abstract. In this paper, we propose a non-standard approach to solving the problem of providing electricity to an agricultural complex. The research process includes the selection of suitable equipment, calculation of the required quantity and capacity of energy generation equipment.

Ключевые слова: энергосистема, возобновляемы источники энергии, автономное электроснабжение.

Key words: the power system, renewable energy sources, autonomous power supply.

### **Введение**

Система автономного электроснабжения представляет собой набор устройств, предназначенных для подачи электроэнергии на отдельные объекты или районы без подключения к основной электросети. В условиях растущего спроса на альтернативные источники энергии и важности обеспечения стабильной подачи электричества в периоды кризисов такие установки становятся всё более популярными.

В настоящее время существует проблема с обеспечением электричеством районов, отдалённых от основных электросетей. В связи с постоянным ростом цен на энергию и природные ресурсы, использование возобновляемых альтернатив становится всё более целесообразным.

### **Основная часть**

Создание автономной энергетической системы для агропромышленного комплекса – это многоэтапный процесс, который начинается с оценки потребностей в энергии и заканчивается обслуживанием установленного оборудования. В ходе этого процесса необходимо выбрать наиболее подходящие источники энергии, такие как солнечные панели, ветрогенераторы, дизельные генераторы и другие, а затем установить и настроить соответствующее оборудование.

Такая система позволяет предприятию поддерживать высокий уровень производительности и экономической эффективности, даже в условиях экстремальных ситуаций. Благодаря использованию различных источников энергии, энергосистема становится гибкой и способной адаптироваться к различным условиям эксплуатации.

Установка качественно разработанной системы повышает надежность предприятия в отношении стабильности электроснабжения и позволяет значительно сократить расходы на электроэнергию.

На первом этапе разработки системы электроснабжения крайне важно проанализировать и учесть электрические нагрузки. Этот шаг служит основой для выбора электропроводящих компонентов и трансформаторов, учитывая их тепловые характеристики и экономическую эффективность. Он также необходим для вычисления возможных изменений в напряжении, что позволяет правильно подобрать устройства для компенсации, защиты и других важных элементов системы.

Точность в определении будущих электрических нагрузок не только способствует эффективному выбору конструкции и компонентов системы питания, но и напрямую влияет на ее экономичность. Разработка и внедрение системы, которая автономно генерирует электричество, позволит снизить затраты на энергию и повысить эффективность использования ресурсов.

### **Заключение**

Независимые энергетические системы представляют собой инновационное и многообещающее решение для обеспечения электричеством различных регионов и зон. Их отличительными чертами являются использование возобновляемых источников энергии, стабильность в работе в экстремальных условиях и возможность значительно снизить затрат. Ожидается, что с течением времени такие системы станут все более популярными и привлекательными на рынке энергетики.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Будзко, И. А. Электроснабжение сельского хозяйства / И. А. Будзко, Т. Б. Лещинская, В. И. Сукманов. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
2. Долин, П. А. Основы техники безопасности в электроустановках : учеб. пособие для вузов / П. А. Долин. – М.: Энергия, 1979. – 408 с.
3. Маньков, В. Д. Основы проектирования систем электроснабжения: справочное пособие / В. Д. Маньков. – СПб: НОУ ДПО «УМИТЦ «Электросервис», 2010 – 664 с.
4. Прищеп, Л.Г. Проектирование комплексной электрификации / Л.Г. Прищеп, А.П.Якименко, Л.В. Шаповалов [и др.]; под ред. Л.Г. Прищепа. – М.: Колос, 1983. – 271 с.

УДК 629.7.067

Суртаев Яков Васильевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Surtaev Yakov Vasilyevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Копытов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kopytov Sergey Mikhailovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В СИСТЕМАХ СПАСЕНИЯ ПИЛОТА ПРИ КАТАПУЛЬТИРОВАНИИ STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING THE EARTH'S MAGNETIC FIELD IN PILOT EJECTION RESCUE SYSTEMS**

Аннотация. Целью работы является повышение безопасности пилота при катапультировании на малых высотах. В аварийной ситуации при наличии линейных угловых ускорений часто невозможно правильно оценить ориентацию летательного аппарата в пространстве. В работе предложено использовать магнитное поле Земли для получения данных об ориентации. Для измерения магнитного поля рекомендовано использовать микроэлектронные магнитометры, предложена структурная схема измерительного модуля и алгоритм его работы.

Abstract. The aim of the work is to improve pilot safety during ejection at low altitudes. In an emergency situation in the presence of linear angular accelerations it is often impossible to correctly assess the orientation of the aircraft in space. The paper proposes to use the Earth's magnetic field to obtain orientation data. To measure the magnetic field it is recommended to use microelectronic magnetometers, the structural scheme of the measuring module and its operation algorithm are proposed.

Ключевые слова: летательный аппарат, катапультирование, магнитное поле Земли, магнитометр, широта, магнитное наклонение.

Key words: aircraft, ejection, Earth's magnetic field, magnetometer, latitude, magnetic inclination.

### **Введение**

Система катапультирования играет решающую роль в спасении жизни пилота при авариях самолета [1]. Система катапультирования, срабатывающая при ручном запуске самим пилотом, является устаревшей, поскольку не может обеспечить полную безопасность. Автоматическая система оперирует показаниями различных датчиков и при их критических значениях самостоятельно запускает процесс катапультирования.

Разумеется, что оценка ситуации для принятия решения должна быть комплексной. Важным параметром при принятии решения о катапультировании следует считать

ориентацию кресла пилота относительно поверхности земли. Этот параметр особенно важен, если летательный аппарат (ЛА) находится на малой высоте. Отстрел кресла не должен в этом случае производиться в направлении к поверхности.

В аварийных ситуациях ЛА может испытывать линейные и угловые ускорения. В этих условиях по показаниям только акселерометров и гироскопов нельзя сделать верные выводы об ориентации кабины. Дополнительную важную информацию можно получить с помощью измерения магнитного поля Земли, поскольку оно стабильно и содержит вертикальную составляющую.

Целью работы является оценка возможности использования магнитного поля Земли для получения информации об ориентации ЛА, определение ограничений на такое использование и аппаратных средств реализации.

### Основная часть

В первом приближении магнитное поле Земли можно рассматривать как поле шара, намагниченного вдоль оси вращения (рисунок 1, а). При этом магнитная ось Земли повернута относительно оси вращения на угол  $11,5^\circ$ . Поэтому геомагнитные полюсы немного не совпадают с географическими полюсами. Северный магнитный полюс находится недалеко от южного географического полюса. Из него выходят силовые линии магнитного поля и входят в южный магнитный полюс, расположенный вблизи северного географического полюса.

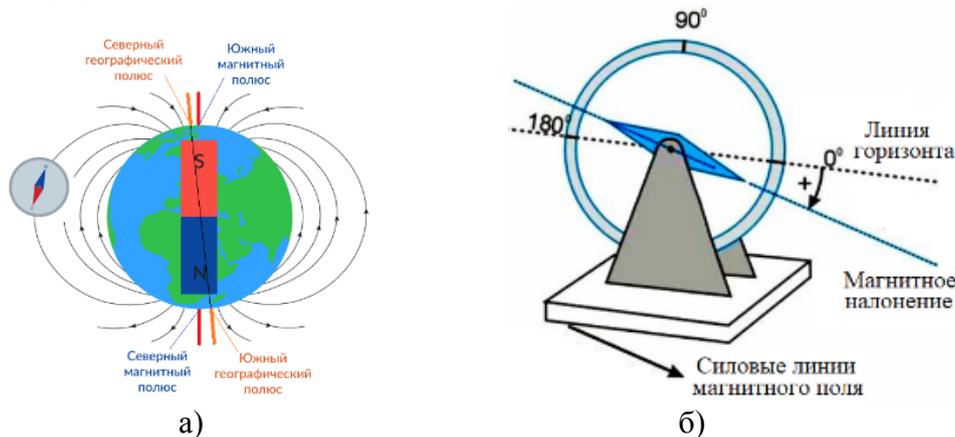


Рисунок 1 – Модель магнитного поля Земли (а)

и ориентации свободно закрепленной магнитной стрелки по силовой линии поля (б)

В данной точке магнитное поле характеризуют направлением вектора напряженности или магнитной индукции  $T$  и его значением. Если в этом месте поместить свободно закрепленную в центре тяжести магнитную стрелку, то она расположится вдоль силовой линии (рисунки 1, б). На рисунке 2 показана проекции вектора  $T$  на горизонтальную поверхность и вертикальную ось.

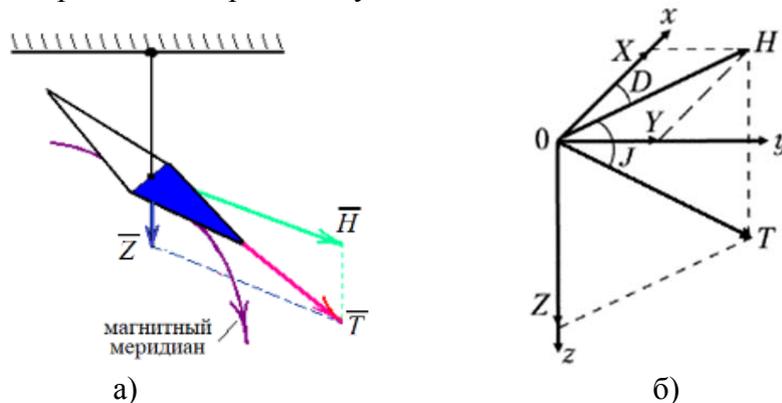


Рисунок 2 – Вектора и углы, характеризующие магнитное поле Земли

Принято ось  $x$  направлять на северный географический полюс, ось  $y$  - на восток, а ось  $z$  – вертикально вниз. В этом случае проекцию  $H$  вектора  $T$  на горизонтальную плоскость называют горизонтальной составляющей поля, а проекцию  $Z$  вектора  $T$  на ось  $z$  называют вертикальной составляющей.

Угол  $D$  между векторами  $X$  и  $H$ , то есть направлениями на географический и магнитный полюсы называют магнитным склонением. Угол  $J$  между горизонтальной плоскостью и вектором  $T$  называют магнитным наклонением. Наклонение считают положительным, если северный конец стрелки наклонен вниз (рисунок 1, б). Для вертикальной составляющей магнитного поля справедливо выражение

$$Z = T \cdot \sin J \quad (1)$$

Значение магнитного наклонения зависит от географической широты  $\varphi$  [2]

$$\operatorname{tg} J = 2 \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Тогда

$$J = \operatorname{arctg}(2 \cdot \operatorname{tg} \varphi) \quad (2)$$

Из выражения (1) можно получить зависимость вертикальной составляющей магнитного поля в относительных единицах от широты

$$\frac{Z}{T} = \sin J = \sin(\operatorname{arctg}(2 \cdot \operatorname{tg} \varphi)) \quad (3)$$

Используя выражения (2) и (3), с помощью среды LabVIEW [3] произведены расчеты магнитного наклонения и вертикальной составляющей магнитного поля в относительных единицах в зависимости от широты и построены соответствующие графики (рисунок 3).

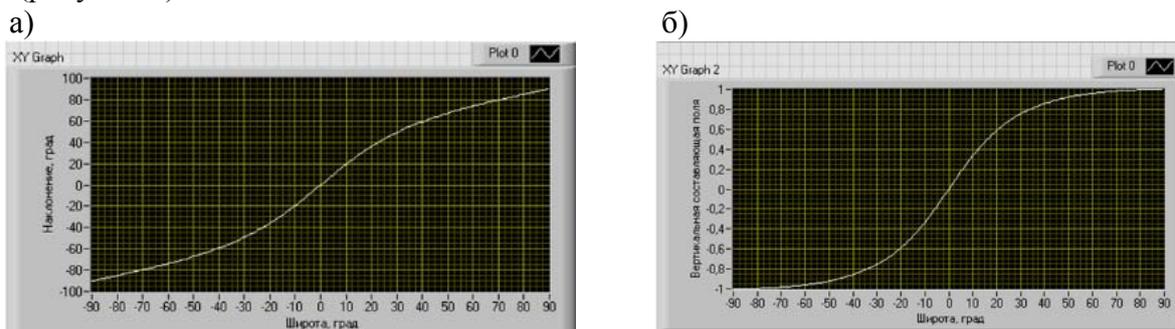


Рисунок 3 – Зависимость наклонения от широты (а) и зависимость вертикальной составляющей поля Земли в относительных единицах от широты (б)

Зависимости показывают, что только в области примерно от 0 до 20° северной и южной широты значения наклонения сравнительно малы. В остальной части значение вертикальной составляющей магнитного поля превышает 60% от полного значения. Для нашей страны, которая расположена между параллелями 41° и 77° северной широты, значение вертикальной составляющей поля еще больше.

Для измерения магнитного поля в настоящее время целесообразно использовать микроэлектронные трехосевые магнитометры [4]. Такие датчики устойчивы к ускорениям и вибрациям, миниатюрны, достаточно быстродействующие, поддерживают современные цифровые последовательные интерфейсы, позволяющие их связать с управляющим контроллером.

Интегральные магнитометры могут быть изготовлены как отдельный элемент, а также входить в состав микроэлектромеханических систем (МЭМС), например, изготавливаться совместно с акселерометром или с акселерометром и с гироскопом [5].

Вариант структурной схемы измерительного модуля для систем катапультирования может иметь вид, приведенный на рисунке 4.

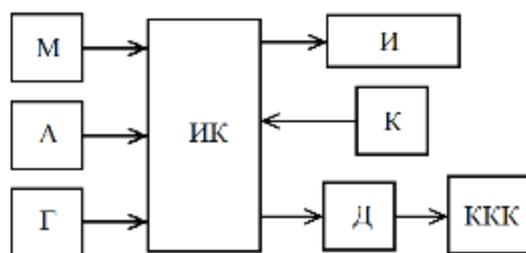


Рисунок 4 – Структурная схема измерительного модуля

На измерительный контроллер ИК поступают данные из трехосевого магнитометра М, акселерометра А и гироскопа Г. Настройка измерительного контроллера осуществляется с помощью клавиатуры К и индикатора И. Сигнал разрешения катапультирования от измерительного контроллера через драйвер Д выдается на контроллер катапультирования кресла ККК.

Для формирования сигнала разрешения катапультирования в первом приближении может быть предложен следующий алгоритм. Измерительный контроллер по данным проекций напряженности магнитного поля Земли на три оси магнитометра находит направление вектора напряженности поля  $T$ . В северном полушарии наклонение положительно, то есть вектор  $T$  направлен вниз к Земле. Исходя из этого, контроллер должен выдавать сигнал разрешения катапультирования только тогда, когда потолок кабины ЛА находится преимущественно в противоположном направлении. Разумеется, в южном полушарии направление должно быть противоположным.

#### Заключение

Произведена оценка возможности использования магнитного поля Земли для установления ориентации ЛА, что необходимо для безопасного катапультирования на малых высотах. Показано, что в области широт примерно от  $20^\circ$  до  $90^\circ$  магнитное поле можно использовать для данной цели. В качестве датчиков могут быть использованы микроэлектронные трехосевые магнитометры, которые могут быть дополнены МЭМС акселерометрами и гироскопами. Разработана структурная схема измерительного модуля, назначение которой выдавать сигнал разрешения катапультирования для контроллера катапультирования кресла. Предложен вариант алгоритма работы измерительного модуля.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дьяченко, Ю.В. Системы аварийного покидания летательных аппаратов : учебное пособие / Ю.В. Дьяченко, И.В. Хромова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2022. – 92 с.
2. Богословский, В.А. Геофизика : учебное пособие, электронное издание сетевого распространения / В.А. Богословский, Ю.И. Горбачев, А.Д. Жигалин, А.В. Калинин, М.Г. Попов, П.Ю. Пушкарев, И.Н. Модин, А.А. Никитин, Ан.А. Никитин, П.Ю. Степанов, В.К. Хмелевский. – М. : «КДУ», «Добросвет», 2018. – 978-5-7913-1031-6. [Электронный ресурс]. – URL: <https://bookonline.ru/node/559/> (дата обращения 5.03.2024).
3. Крутских, В.В. Моделирование в LabVIEW : учебное пособие для вузов / В.В. Крутских. – М. : Издательство Юрайт, 2024. – 171 с.
4. Русских, М. Магнитометры: принцип действия, компенсация ошибок. – РадиоЛоцман, 2012. – № 9. – С. 31-38.
5. LSM303DLHC. Ultra-compact high-performance eCompass module: 3D accelerometer and 3D magnetometer. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lsm303dlhc.pdf> (дата обращения 5.03.2024).

УДК 681.2

Тимохин Петр Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Timokhin Petr Alexandrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Копытов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kopytov Sergey Mikhailovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ EXTENDING THE OUTPUT VOLTAGE LIMITS OF A LOGARITHMIC AMPLIFIER

Аннотация. Целью работы является проверка возможности повышения выходного напряжения логарифмического усилителя с помощью модернизации самого усилительного каскада. Предложено вместо элемента с одним р-п-переходом в цепь отрицательной обратной связи последовательно устанавливать несколько таких элементов. В среде Multisim выполнено моделирование работы исходного и модернизированного усилителей, которое подтвердило работоспособность схемы устройства.

Abstract. The purpose of the work is to check the possibility of increasing the output voltage of a logarithmic amplifier by modernizing the amplifying stage itself. It is proposed to install several such elements in series in the negative feedback circuit instead of an element with a single p-n junction. Simulation of the original and modernized amplifiers was performed in Multisim environment, which confirmed the performance of the device circuit.

Ключевые слова: логарифмический усилитель, диод, транзистор, операционный усилитель, Multisim.

Key words: logarithmic amplifier, diode, transistor, operational amplifier, Multisim.

### Введение

Логарифмические усилители занимают особое место среди нелинейных аналоговых усилителей. Их выходной сигнал является логарифмом от входного сигнала. За счет этого они сужают входной сигнал с большим динамическим диапазоном, преобразуя его в выходной сигнал с ограниченной амплитудой. Это осуществляется путем изменения коэффициента усиления: для малого входного сигнала он высокий, а для большого низкий.

В работе [1] приведен пример обработки сигнала в логарифмическом усилителе (рисунок 1).

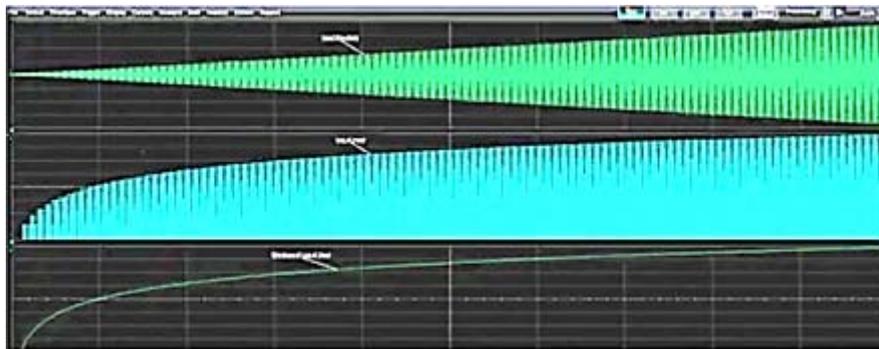


Рисунок 1 – Сжатие сигнала в логарифмическом усилителе: сверху - входной сигнал, в середине - логарифм входного сигнала, внизу - огибающая выходного логарифмического сигнала

Верхняя осциллограмма показывает двухполярный синусоидальный входной сигнал с амплитудной модуляцией. Модулирующий сигнал подчиняется линейному закону. Вторая осциллограмма показывает выходной однополярный сигнал, полученный после логарифмирования. Внизу приведена огибающая выходного сигнала. Эта форма соответствует сигналу детектирующего логарифмического усилителя после сглаживания. В случае подачи такого сигнала на аналого-цифровой преобразователь на его вход будет поступать сжатый сигнал, лежащий в границах диапазона преобразования.

Обычно логарифмические усилители реализуют на основе операционных усилителей и полупроводниковых приборов с р-п-переходом. Известно, что р-п-переход имеет начальный участок вольт-амперной характеристики с экспоненциальной зависимостью тока от напряжения. Этот участок распространяется до напряжения, соответствующего контактной разности потенциалов, которая для кремниевых диодов достигает 0,6...0,7 В. Поэтому для получения обратной, то есть логарифмической характеристики прибор с р-п-переходом включают в схему инвертирующего усилителя вместо резистора отрицательной обратной связи.

Рассмотренный принцип действия накладывает ограничение на максимальное значение выходного напряжения логарифмического усилителя. Оно не может превышать контактную разность потенциалов используемого р-п-перехода. Разумеется, существуют способы преодолеть данное ограничение, например, использовать дополнительный каскад усиления или выбрать экзотический полупроводник с большим значением контактной разности потенциалов. Однако данные решения имеют свои недостатки. Поэтому актуальна задача увеличить выходное напряжение самого логарифмического усилителя. Цель работы заключается в поиске способа повышения выходного напряжения усилителя и проверке найденного решения.

### Основная часть

На практике для получения логарифмического усилителя используют три основные принципиальные схемы (рисунок 2, а - в).

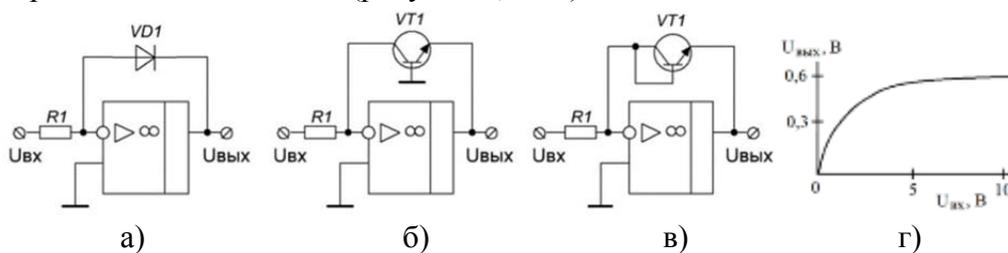


Рисунок 2 – Принципиальные схемы логарифмических усилителей (а – в) и характеристика передачи логарифмического усилителя (г)

Усилитель с использованием диода (рисунок 2, а) имеет ограниченный динамический диапазон входного сигнала, который составляет примерно 60 дБ. Это связано с отклонением реальной вольт-амперной характеристики диода от экспоненциальной характеристики при увеличении тока. Усилитель с использованием транзистора имеет лучшую точность преобразования. Например, в транзисторе с заземленной базой (рисунок 2, б) падение напряжения на эмиттерном переходе точно равно натуральному логарифму коллекторного тока в диапазоне от пикоампер до единиц миллиампер. Поэтому динамический диапазон входного сигнала может достигать 160 дБ. В усилителе на транзисторе в диодном включении динамический диапазон достигает 80 дБ. Однако его схема более устойчивая и быстродействующая.

Передаточная характеристика рассмотренных схем приведена на рисунке 2, г. Выходное напряжение ограничено на уровне примерно 0,6...0,7 В. Передаточная характеристика схем с транзисторами описывается выражением

$$U_{\text{ВЫХ}} = -\varphi_T \cdot \ln\left(\frac{U_{\text{ВХ}}}{R1 \cdot I_{\text{Э0}}}\right), \quad (1)$$

где  $\varphi_T$  – тепловой потенциал (0,026 В при  $T = 300$  К),  $I_{\text{Э0}}$  – ток насыщения эмиттера (порядка  $10^{-13}$  А).

Повысить выходное напряжение возможно, если несколько транзисторов в одном включении соединить последовательно.

Проверку предложенного решения можно выполнить с помощью моделирования в среде Multisim. Полезно сравнить работу усилителя с одним и с несколькими транзисторами в цепи обратной связи. На рисунке 3 приведена экспериментальная схема с одним транзистором, а также осциллограммы входного и выходного сигналов при ее работе.

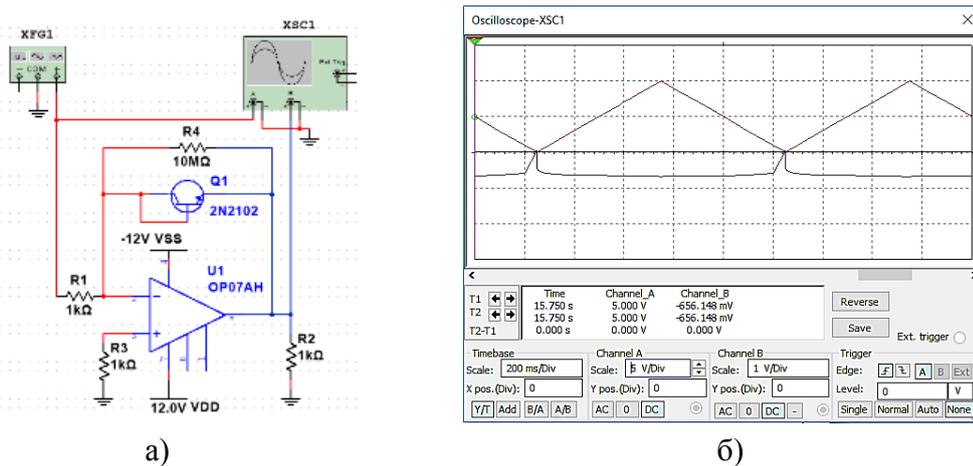


Рисунок 3 – Схема моделирования усилителя с одним транзистором (а) и осциллограммы входного и выходного сигналов (б)

От генератора XPG1 на вход усилителя подается периодический сигнал треугольной формы амплитудой 5 В со смещением +5 В. На двухлучевом осциллографе XSC1 выводятся осциллограммы как входного сигнала (красный график), так и выходного (синий график). Цена деления по вертикали для входного сигнала составляет 5 В, а для выходного 1 В. Осциллограмма выходного сигнала показывает, что максимальное напряжение выходного сигнала составляет примерно -0,7 В.

На рисунке 4 приведены экспериментальная схема с тремя транзисторами и результаты ее моделирования.

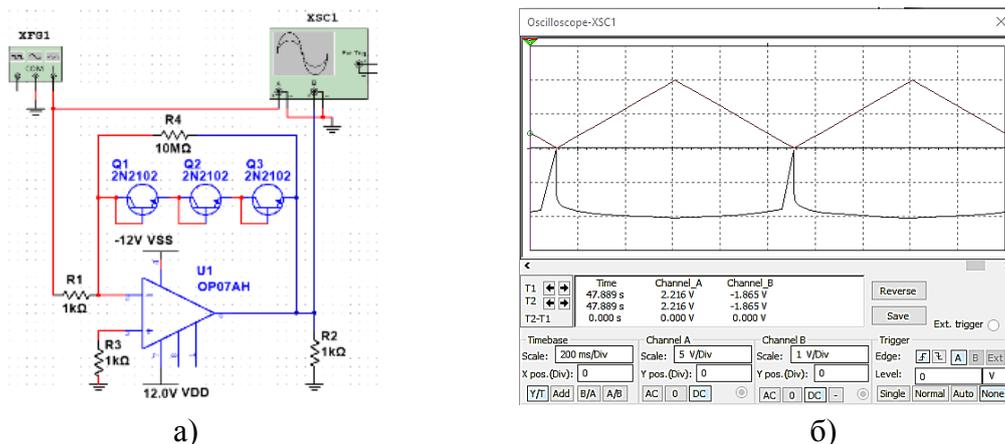


Рисунок 4 – Схема моделирования усилителя с тремя транзисторами (а) и осциллограммы входного и выходного сигналов (б)

Максимальное напряжение выходного сигнала повысилось в три раза примерно до -2,1 В. Работоспособность схемы подтверждена. Для получения более высокой точности преобразования следует использовать транзисторы с одинаковыми параметрами.

рами. Поэтому целесообразно применить транзисторы, входящие в состав транзисторной сборки, например, КР159НТ1В.

### **Заключение**

Итак, для повышения выходного напряжения логарифмического усилителя предложено в цепи обратной связи операционного усилителя последовательно устанавливать несколько однотипных биполярных транзисторов в диодном включении. Максимальное выходное напряжение при этом равно сумме контактных разностей потенциалов эмиттерных переходов транзисторов. Данный усилитель промоделирован в среде Multisim, в результате получены осциллограммы, подтверждающие его работоспособность. Используемое решение позволяет сократить этап дополнительного усиления при обработке входного сигнала.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Смекодуб, В.А., Щекатурин, А.А. Логарифмический измеритель мощности // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. – 2020. – № 3 . – С. 164.
2. Михалев, П. Микросхемы логарифмических усилителей традиционной схемотехники // Компоненты и технологии. – 2007. – № 8 . – С. 51-58.
3. Михалев, П. Микросхемы логарифмических усилителей традиционной схемотехники [Электронный ресурс]. – URL: <https://gis-lab.info/qa/great-circles.html> (дата обращения: 05.11.2024).
4. Копаев, В. Логарифмические усилители [Электронный ресурс]. – URL: <https://russianelectronics.ru/logarifmicheskie-usiliteli/> (дата обращения: 06.11.2024).
5. Логарифмические и экспоненциальные усилители [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.electronicblog.ru/usilitelnaya-sxematexnika/logarifmicheskie-i-eksponencialnye-usiliteli.html> (дата обращения: 06.11.2024).
6. Крутских, В.В. Моделирование в LabVIEW : учебное пособие для вузов / В.В. Крутских. – М. : Издательство Юрайт, 2024. – 171 с.

УДК 681.52

Томских Антон Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tomskikh Anton Alekseevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Богатырев Матвей Алексеевич, ученик, Инженерная школа города Комсомольска-на-Амуре

Bogatyrev Matvey Alekseevich, student, Engineering School of Komsomolsk-na-Amure City

Савельев Дмитрий Олегович, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savelyev Dmitriy Olegovich, senior lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ПЕРЕВЕРНУТОГО ДВУХЗВЕННОГО МАЯТНИКОВОГО МЕХАНИЗМА INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR STABILIZATION OF INVERTED TWO-LINK PENDULUM MECHANISM**

Аннотация. Значительные проблемы, возникающие при управлении платформой балансира, связаны с присущей им неустойчивостью, ведь конструктивно они напоминают систему перевернутого маятника. Данное исследование решает эти проблемы путем разработки динамической нелинейной модели и управления устойчивостью конструкции при помощи вычислительных алгоритмов. Была разработана нейросетевая нелинейная авторегрессионная модель с экзогенными входами, которая отражает и ведет себя аналогично объекту управления. Для обеспечения стабильного и отзывчивого управления были разработаны и протестированы в среде моделирования, нечеткие ло-

гические регуляторы ПД и ПИД типа, использующие оптимизацию роя частиц. Производительность оценивалась по различным критериям, включая интегральную квадратичную ошибку (ISE), интегральную абсолютную ошибку (IAE), среднее квадратичное значение (MSE) и интегральную абсолютную ошибку по времени (ITAE).

Abstract. Significant problems encountered in controlling the balancer platform are due to their inherent instability, because structurally they resemble an inverted pendulum system. This study addresses these problems by developing a dynamic nonlinear model and controlling the stability of the structure using computational algorithms. A neural network-based nonlinear autoregressive model with exogenous inputs was developed that reflects and behaves similarly to the control object. To ensure stable and responsive control, fuzzy PD and PID type logic controllers using particle swarm optimization were developed and tested in a simulation environment. The performance was evaluated using various criteria including integral square error (ISE), integral absolute error (IAE), mean square error (MSE) and integral absolute time error (ITAE).

Ключевые слова: Нейронная сеть, нечеткое логическое управление, оптимизация роя частиц, идентификация системы, системы стабилизации.

Key words: Neural network, fuzzy logic control, particle swarm optimization, system identification, stabilization systems.

### **Введение**

Задача управления системой стабилизации перевернутого механизма заключается в том, чтобы уравновесить маятник, приложив силу к нижней части, например, к тележке. Было разработано несколько подходов к управлению стабилизации двухколесного перевернутого двухзвенного маятникового механизма. К ним относятся управление на основе нечеткой логики, управление на основе нейронных сетей, управление по схеме «качели вверх» и гибридное LQR-нечеткое управление.

В систему перевернутого маятника можно вносить изменения, например, увеличивать количество звеньев для получения дополнительных степеней свободы, а также использовать различные типы исполнительных механизмов для перемещения системы; эти изменения приведут к увеличению сложности системы. Например, существуют однозвенный перевернутый маятник, двухзвенный перевернутый маятник и трехзвенный перевернутый маятник, а их привод может быть на тележке, на двух колесах, на поворотном или инерционном колесе. В целом, все эти системы имеют одну и ту же характеристику - они неустойчивы по своей природе. Хотя и существуют различные успешные примеры управления перевернутым маятником с помощью традиционных регуляторов, таких как ПИД и линейно-квадратичный регулятор (далее LQR), однако большинство из них разработаны и оценены только в имитационных исследованиях.

В последнее время для определения оптимальных характеристик управления используется алгоритм роя частиц (далее PSO), основанный на методах оптимизации. Оптимизация роя частиц – это эволюционный метод вычислений, вдохновленный роем или совместным поведением биологических популяций. PSO инициализирует набор случайных частиц или решений, а затем поколения изменяются для проверки оптимальности. На итерации два «лучших» значения используются для обновления каждой частицы. Более того, в данной работе разработанный алгоритм управления также оптимизируется с помощью хорошо зарекомендовавшего себя алгоритма PSO для достижения оптимального результата благодаря этим двум лучшим значениям по сравнению с другими алгоритмами оптимизации алгоритмов. Сигнал ошибки определяется как разница между опорным углом и фактическим угловым положением системы. Нечеткий логический регулятор реализован для управления электропривода. Поскольку масштабирование функции принадлежности в нечетком логическом регуляторе является неоднозначным, PSO добавляется для помощи в настройке.

## Имитационное моделирование

На рисунках 1 и 2 показана схема замкнутой системы стабилизации перевернутого двухзвенного маятникового механизма с регуляторами типа ПД и ПИД. Нечеткий логический регулятор типа ПД имеет два коэффициента для входов контроллера и один коэффициент в выходе контроллера. С другой стороны, нечеткий логический регулятор типа ПИД имеет два коэффициента для входа регулятора и два коэффициента для выхода регулятора [1-2].

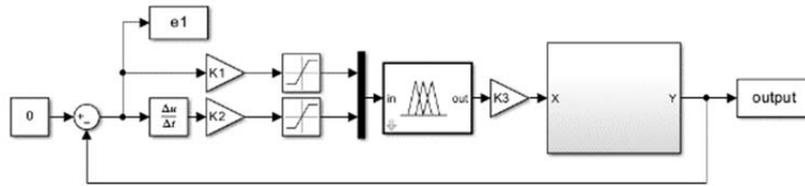


Рисунок 1 – Схема замкнутой системы стабилизации перевернутого двухзвенного маятникового механизма с ПД регулятором

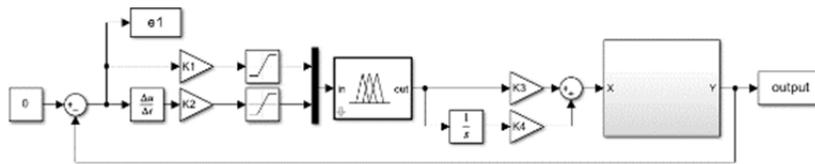


Рисунок 2 – Схема замкнутой системы стабилизации перевернутого двухзвенного маятникового механизма с ПИД регулятором

Таблица 1 – Диапазоны коэффициентов масштабирования PD и PID регуляторов

Коэффициент	Усиление
K1 [0,001 1]	[0,001 1]
K2 [0,001 0,1]	[0,001 0,1]
K3 [1 1000]	[1 1000]
K4 [1 1000]	[1 1000]

На графиках, представленных на рисунках 3 и 4 показана эффективность разработанной системы с ПД и ПИД контроллерами соответственно. Для оптимизации нечеткого логического регулятора с ПД-типом, как видно на рисунке 3, имеется четыре набора коэффициентов, оптимизированных по ISE, IAE, ITAE и MSE. Как видно, даже после оптимизации по четырем критериям ни один из них не смог значительно снизить стационарную ошибку до нуля. Среднее время переходного процесса для четырех наборов коэффициентов составило примерно 40 секунд. Контроллер, оптимизированный по критерию IAE, продемонстрировал лучшие результаты по времени переходного процесса в 38 секунд.

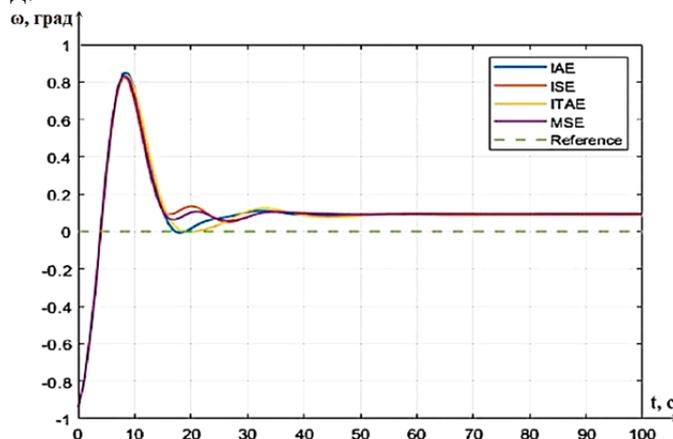


Рисунок 3 – Реакция системы при использовании оптимизированного нечеткого логического регулятора ПД типа.

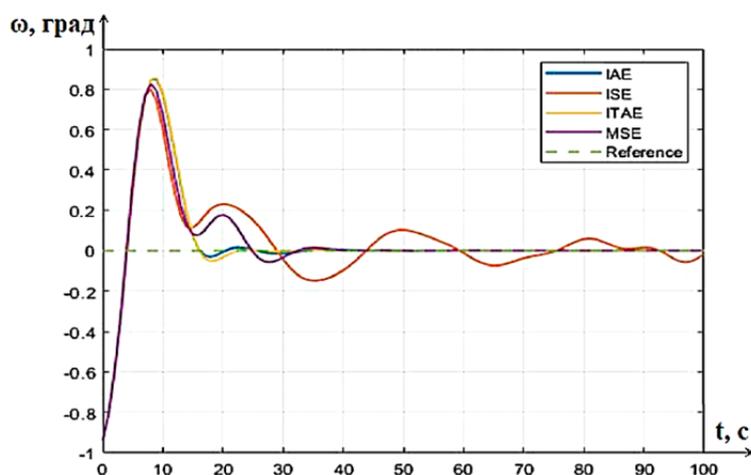


Рисунок 4 – Реакция системы при использовании оптимизированного нечеткого логического регулятора ПИД типа.

### Заключение

В исследовании были рассмотрены как ПД, так и ПИД регулятор, реализованные на нечетком логическом регуляторе. Описанные регуляторы были разработаны и оптимизированы с использованием алгоритма роя частиц (PSO). Были протестированы и оценены имитационные модели объекта регулирования с использованием различных критериев оценки производительности, касающихся ошибки стабилизации и времени переходного процесса [3]. Показано, что разработанная система управления способна стабилизировать объект в центральном положении, и нечеткий логический регулятор, оптимизированный с помощью PSO, обеспечивает не плохую производительность системы. Более того, показано, что система с ПИД-регулятором и оптимизацией по MSE работает лучше, достигая времени переходного процесса в 35 секунд. При таком управлении ошибка системы составляет 0,046%, что определяет улучшение на 12,5% по времени переходного процесса и поддерживает угол наклона  $0^\circ$ .

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Томских, А. А. Повышение показателей эффективности системы управления при помощи нечеткого логического регулятора / А. А. Томских, Д. О. Савельев, А. С. Гудим // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 05–11 декабря 2022 года / Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 101-105. – EDN JRADYQ.
2. Казакова, Е. М. Применение метода роя частиц в задачах оптимизации / Е. М. Казакова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – № 5(109). – С. 48-57. – DOI 10.35330/1991-6639-2022-5-109-48-57. – EDN LEZQRG.
3. Адамов, Б. И. Стабилизация движения сигвея с параметрической неопределённостью и повышение комфортабельности езды пассажира / Б. И. Адамов // Навигация и управление движением : Материалы XV конференции молодых ученых, Санкт-Петербург, 12 марта – 01 2013 года / Научный редактор: О.А. Степанов, под общей редакцией В. Г. Пешехонова. – Санкт-Петербург: Концерн "Центральный научно-исследовательский институт "Электроприбор", 2013. – С. 339-343. – EDN RVYHNN.

УДК 629.584

Томских Антон Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tomskikh Anton Alekseevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Савельев Дмитрий Олегович, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savelyev Dmitriy Olegovich, senior lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

Черный Сергей Петрович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sergey P. Cherny, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ПОДВОДНОГО МОДУЛЯ MODELING OF MOTION CONTROL SYSTEM OF UNMANNED UNDERWATER MODULE**

Аннотация. Беспилотный подводный модуль (далее БПМ) представляет собой комплекс технических средств, способных самостоятельно перемещаться под водой с целью выполнения различных задач на значительных глубинах и в условиях, которые являются недоступными для человеческого вмешательства. В статье приведены показатели и переходные процессы, полученные в ходе исследования системы управления БПМ при помощи имитационного моделирования.

Abstract. The unmanned underwater module is a complex of technical means capable of moving independently underwater in order to perform various tasks at considerable depths and in conditions that are inaccessible to human intervention. The article presents indicators and transients obtained in the course of research of the control system of the unmanned underwater module by means of simulation modeling.

Ключевые слова: Беспилотный подводный модуль, нечеткая логика, контроль траектории движения, система управления, океанологические исследования.

Key words: Unmanned underwater module, fuzzy logic, trajectory control, control system, oceanological research.

### **Введение**

На сегодняшний день, беспилотные подводные модули могут использоваться для осуществления научных исследований океана, обследования и мониторинга морской среды, поиска и обследования рудных месторождений, а также для выполнения операций обслуживания подводных кабелей и инфраструктуры. Они удобны для работы в опасных или недоступных для человека зонах под водой и могут быть запрограммированы на выполнение определенных задач без постоянного контроля со стороны оператора. В последнее время беспилотные подводные модули становятся все более распространенным инструментом для исследования и эксплуатации морских ресурсов [1-2]. Математическое моделирование работы движительно-рулевого комплекса (далее - ДРК) каждой компоновки представляется тривиальной задачей при наличии математической модели движителя. Рассмотрим далее построение математической модели отдельного движителя. Такая модель должна связывать управляющий сигнал, поступающий на электродвигатель движителя, с упором.

### **Имитационное моделирование**

Была составлена общая математическая модель движения подводного модуля. Такая модель движения БПМ при раздельном управлении движителями вдоль каждой из двух рассматриваемых осей, продемонстрирована на рисунке 1. Задатчиком движения для каждого движителя соответствующей оси является постоянный сигнал, реализуемый в среде Simulink в виде функции Хевисайда.

Коррекция положения при позиционировании по координате производится при помощи измерителя рассогласования в виде наличия единичной отрицательной обратной связи в канале каждого движителя соответствующей оси передвижения БПМ [3].

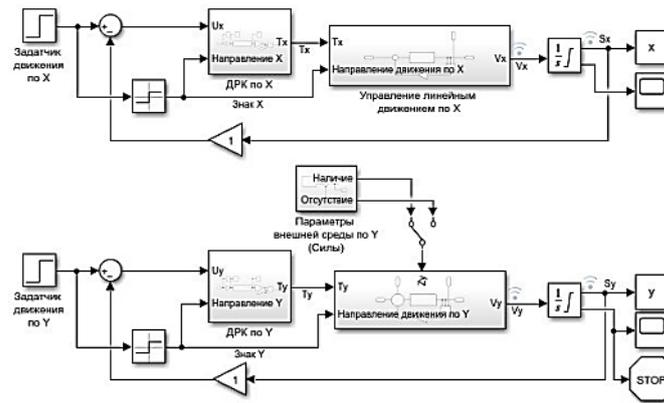


Рисунок 1 – Модель движения БПМ

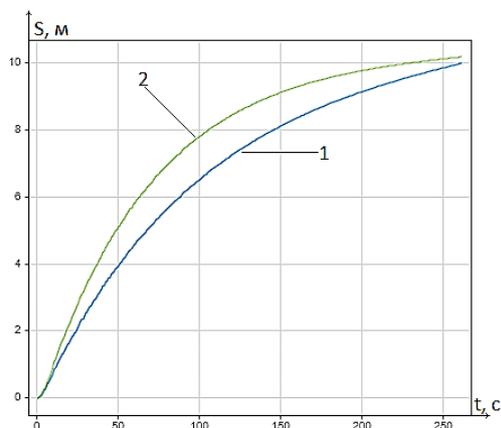
При эмуляции движения БПМ в каждом задатчике сигнала использовались значения, равные десяти условным единицам, пропорциональным соответствующему расстоянию в метрах.

В имитационной модели движения БПМ применяется блок STOP, реализующий прекращение симуляции имитационной модели и ее расчетов в момент выхода на заданный уровень. Такой подход позволяет избежать неверных вычислений дифференциальных уравнений при значениях положения близкого к машинному нулю. Для определения момента отсечки используется блок интегрального ограничителя, позволяющий установить пределы вычисления по координате в виде насыщения.

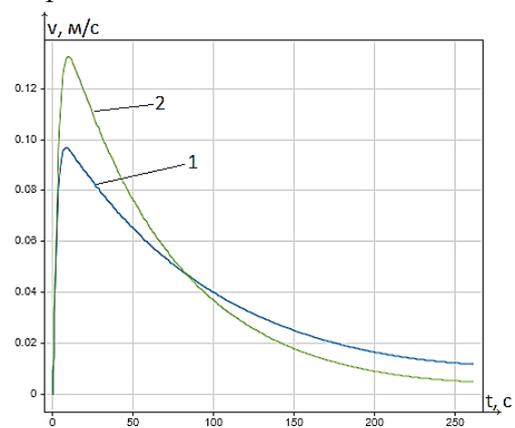
Переходный процесс изменения положения БПМ по времени представлен на рисунке 2, график переходного процесса изменения скорости БПМ по времени представлен на рисунке 3.

Как видно из графиков переходного процесса изменения положения (рисунок 2) и переходного процесса изменения скорости (рисунок 3), процесс движение по оси абсцисс протекает быстрее, чем по оси ординат. Это происходит по причине накладываемых возмущающих воздействий на ось ординат (сила Архимеда и сила тяжести).

Исходя из приведённого выше описания, необходимо произвести усложнение имитационной модели системы управления движителями путем добавления сигналов ошибки по положению для каждой из координат передвижения.



1 – движение БПМ вдоль оси ординат;  
2 – движение БПМ вдоль оси абсцисс;  
Рисунок 2 – Переходный процесс изменения положения БПМ по времени



1 – скорость БПМ вдоль оси ординат;  
2 – скорость БПМ вдоль оси абсцисс;  
Рисунок 3 – Переходный процесс изменения скорости БПМ по времени

## Заключение

Такой подход позволит управлять не только скоростью вращения движителей, основываясь на дистанции до пункта назначения, но и корректировать положение БПМ на плоскости, введя сигнал коррекции в пропорциональную составляющую [4]. Дальнейшее совершенствование подходов к исследованию сложных объектов управления может значительно улучшить их функциональность и эффективность в выполнении задач в сложных условиях подводной среды. Это позволяет поддерживать стабильность и точность движения подводного модуля, даже в условиях изменяющейся среды.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Томских, А. А. Повышение показателей эффективности системы управления при помощи нечеткого логического регулятора / А. А. Томских, Д. О. Савельев, А. С. Гудим // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 05–11 декабря 2022 года / Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 101-105. – EDN JRADYQ.
2. Шушарин Н.С. Подводный робот для проведения сварочных работ в тяжелых условиях / Н.С. Шушарин, Д.О. Савельев // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: материалы VI Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 5-11 декабря 2022 г. Ч. 1 / редкол.: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. - Комсомольск-на-Амуре: Изд-во КНАГУ, 2023. - С. 138-140. EDN: BFXAVE
3. Томских, А.А. Повышение показателей эффективности системы управления подводным роботом при помощи lqr-регулятора / А.А. Томских, Н.С. Шушарин, Д.О. Савельев // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. - Комсомольск-на-Амуре, 2023. - С. 264-267. EDN: JRADYQ
4. Томских, А. А. Особенности моделирования перемещения автономным необитаемым подводным модулем / А. А. Томских, Д. О. Савельев, С. П. Черный // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 228-230. – EDN OPINYM.

УДК 681.5

Трифонов Максим Евгеньевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Trifonov Maxim Evgenievich, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Alexey Valerievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА СТЕНДА ПРОВЕРКИ ДАТЧИКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ DEVELOPMENT THE TEST STAND OF OIL REFINING PROCESS TECHNOLOGICAL PARAMETERS SENSORS**

Аннотация. Проанализированы причины необходимости применения стенда проверки датчиков технологических параметров процесса нефтепереработки. Был проведен анализ существующих технических решений, так же выявились их недостатки. Продемонстрирована структурная схема разрабатываемой системы, отвечающая требованиям безопасности, экономичности, а также включающая функцию удаленного контроля.

Abstract. The reasons for the need to use a test bench for sensors of technological parameters of the oil refining process are being considered. The analysis of existing technical solutions is carried out, their shortcomings are revealed. A block diagram of the system being developed is demonstrated, which meets the requirements of safety, efficiency, and also includes a remote control function.

Ключевые слова: датчики, давление, разработка, нефтепереработка, проверка, стенд.  
Key words: sensors, pressure, development, refining, inspection, stand.

### **Введение**

В процессе нефтепереработки стабильное получение качественного продукта зависит от корректной работы контрольно-измерительных приборов (КИП), так как с помощью именно датчиков давления, расхода и температур происходит регулирование химического состава нефтепродукта. Датчики работают в тяжёлых условиях (непрерывно и в агрессивных средах при повышенных температурах), что периодически приводит к ухудшению их точностных характеристик и даже к выходу из строя [1]. Поэтому время от времени нужно производить проверку и поверку исправности датчиков. Проблема заключается в следующем. Процесс переработки непрерывен, поэтому просто извлечь датчик для ремонта и проверки нельзя, а заменить его зачастую нечем. Даже если и имеется подменный датчик, то стенд проверки датчика находится далеко от места расположения датчика на технологическом оборудовании. Из-за чего тратится большое количество времени на транспортировку и проверку датчиков. Долгая проверка и транспортировка, отсутствия замены датчика становятся опасными факторами производства и могут привести не только к получению некачественной продукции, но и аварии.

В связи с вышеизложенным, целью работы является разработка переносного, компактного стенда проверки датчиков. Данный стенд позволит на месте проверять датчики, устранять проблему и находить необходимое решение.

### **Существующие стенды проверки датчиков технологических параметров процесса нефтепереработки**

На сегодняшний момент на рынке представлен ряд устройств проверки датчиков технологических параметров процесса нефтепереработки.

Первым известным техническим решением является: метрологические установки серии METROL (МЕТРОЛ) для поверки, калибрования и ремонта средств измерения (СИ) давления, они изготавливаются и предусматриваются по индивидуальным техническим требованиям заказчика. Данная установка может работать в двух режимах: стенды (то есть так называемые установки) с автоматизированным процессом поверки СИ давления, стенды с ручным воспроизведением давления при поверке СИ давления.

Системное, полное решение для проведения поверки, калибровки и ремонта СИ давления позволяет автоматизировать и упростить процесс поверки и калибровки; предоставляет широкие возможности применения встраиваемого оборудования и приборов.

Стенды оснащаются унифицированными панелями со встраиваемыми приборами и эталонами (рисунок 1).

Стенд для проверки METROL обладает следующими недостатками:

- большой размер что исключает проверку на месте и приходится транспортировать прибор к стенду;
- высокая стоимость;
- значительные массогабаритные показатели;
- необходимость установки дополнительных крепежных конструкций для установки системы.

Еще одной системой контроля состояния является TESTO 312-4. Данный измерительный прибор для проведения всех необходимых измерений на котельном оборудовании, газовых и гидравлических трубопроводах. Система контроля обеспечивает

регистрацию измеренных значений в течение 24 часов и перенос данных для анализа и графического представления данных на персональный компьютер.

Система testo 312-4 также обладает следующими недостатками:

- малая продолжительность работы на аккумуляторах;
- небольшой диапазон измерения;
- высокая стоимость.



Рисунок 1 – Состав системы BMC01

### Структурная схема предлагаемого решения

В качестве системы стенда для проверки датчиков технологических параметров процесса нефтепереработки предлагается использовать устройство, структурная схема которого представлена на рисунке 2. Принцип работы схемы основополагается на сравнении показаний эталонного и проверяемого датчиков при разных значениях измеряемого давления. Для этого тестируемый и эталонный датчики давления (ДД) подключаются через преобразователь интерфейса (ПИ1) к микроконтроллеру (МК). Преобразователь интерфейса осуществляет преобразование выходных сигналов датчиков (4 – 20 мА, 0 – 10 В, цифровые) в цифровые сигналы.

Для нагнетания требуемого давления используется компрессор (К), приводимый в действие электродвигателем постоянного тока. Для управления компрессором используется аналоговое управление изменением его напряжения питания. Для преобразования выходных сигналов микроконтроллера в требуемый уровень напряжения питания компрессора в схеме предусмотрен преобразователь интерфейса ПИ2 [2] .

Пневматическая схема стенда содержит 3 электромагнитных пневматических клапана (ЭК) – один подключает тестируемый датчик давления к ресиверу с заданным давлением; второй подключает компрессор к указанному ресиверу; третий производит сброс избыточного давления в атмосферу. Для формирования сигналов управления клапанами предусмотрен преобразователь интерфейса ПИ3, который преобразует низковольтные слаботочные выходные сигналы микроконтроллера в напряжение управления клапанами [3].

Для сохранения протокола испытаний в стенде предусмотрена карта памяти (КП), которая подключается к микроконтроллеру через преобразователь интерфейса ПИ4.

Для получения информации о результатах проверки и постановки задачи на стенде предусмотрен пульт оператора (ПО) состоящий из клавиатуры и дисплея.

Поскольку стенд в качестве питания использует аккумуляторные батареи (АКБ) предусмотрена схема измерения остатка заряда по напряжению. Для понижения напряжения АКБ до уровня входных сигналов аналога цифрового преобразователя предусмотрена схема согласования (СС).

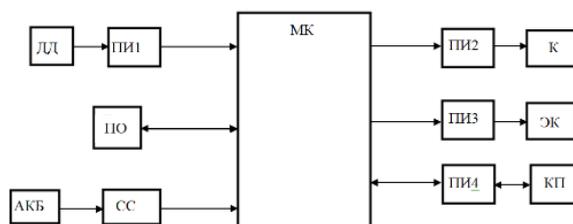


Рисунок 2 – Структурная схема системы

## Заключение

Таким образом, разработка стенда проверки датчиков технологических параметров процесса нефтепереработки является актуальной задачей. При этом разрабатываемая система будет иметь следующие особенности: возможность проверки датчиков на месте их установки; обладать достаточным зарядом батареи; обеспечивать достаточно большой динамический диапазон измеряемых величин; отсутствие необходимости монтажа дополнительного крепежного оборудования; возможностью применяться не только «в поле», но и в лаборатории; наличие устройств защиты от различных аварий.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Беркут, А.И. Системы автоматического контроля технологических параметров: Учебное пособие / А.И. Беркут, А.А. Рульнов. – М.: АСВ, 2005. – 144 с.
2. Водовозов, А. М. Микроконтроллеры для систем автоматики : учебное пособие / А. М. Водовозов. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. - 168 с. - ISBN 978-5-9729-1071-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1903136> (дата обращения: 19.11.2024). – Режим доступа: по подписке.
3. Кологривов В.А. Основы автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств. Часть 2 : учебное пособие / Кологривов В.А.. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 132 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/13956.html> (дата обращения: 19.11.2024). – Режим доступа: для авторизир. Пользователей.

УДК 621.317.3

Франчук Виктор Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Franchuk Viktor Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Зайченко Илья Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zaychenko Ilya Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the «Department of Industrial Electronics and Innovative Technologies», Komsomolsk-na-Amure State University

Катунцева Наталья Леонидовна, старший преподаватель кафедры «Прикладная математика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Katuntseva Natalia Leonidovna, Senior Lecturer of the «Department of Applied Mathematics», Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING THE ACCURACY OF MEASURING ELECTRICAL QUANTITIES IN THE FIELD**

Аннотация. Анализируется спектр факторов, оказывающих влияние на точность измерения электрических величин в полевых условиях. Рассматриваются современные подходы к минимизации их воздействия, требования, представляемые к реализации этих подходов. В заключение даются общие рекомендации по применению стандартов, требований к реализации.

Abstract. The spectrum of factors influencing the accuracy of measuring electrical quantities in the field is analyzed. Modern approaches to minimizing their impact and the requirements

presented for the implementation of these approaches are considered. In conclusion, general recommendations on the application of standards and implementation requirements are given.

Ключевые слова: электрические величины, помехозащищенность, точность измерения, полевое измерение, промышленность.

Key words: electrical quantities, noise immunity, measurement accuracy, field measurement, industry.

### **Введение**

Во всех отраслях современной промышленности, в особенности машиностроительной отрасли и отрасли электронной промышленности большое внимание уделяется защищённости от внешних воздействий. Точность измерения электрических величин играет ключевую роль в каждом современном устройстве. В полевых условиях, где влияние внешних факторов значительно выше, достижение высокой точности становится серьёзной задачей. Проблемы точности особенно актуальны при эксплуатации измерительного оборудования в экстремальных климатических зонах или на объектах с высокой степенью электромагнитных помех. Особая актуальность присуща помехозащищённости, поскольку с каждым годом растёт число высокочастотных устройств и установок, требующих высокоточных электрических измерений в энергетике, телекоммуникациях и промышленности, проблема устойчивости измерительного оборудования к ЭМП становится всё более значимой. Полевые условия накладывают дополнительные ограничения, связанные с невозможностью создания полностью контролируемой среды, что делает учёт помех обязательным.

Целью данной работы является анализ основных внешних воздействий, оказываемых влияние на точность измерений электрических величин и предложить эффективные методы их минимизации.

### **Основная часть**

В общем понимании, на любые измерения в полевых условиях на точность измерения оказывают влияние такие факторы, как: температурное воздействие окружающей среды, включающее в себя так же и влажность; механические воздействия; химические воздействия; человеческий фактор; электромагнитные помехи.

Человеческий фактор, безусловно, присущ любым измерениям в любой среде, однако полевые условия и невозможность полного контроля параметров среды делает этот фактор одним из наиболее значимых. На текущий момент решение этой проблемы заключается в обучении и инструктировании персонала при измерении, введение протоколов измерений, а также введение конструктивных особенностей в измерительные устройства для минимизации влияния человека в измерениях.

Климатические условия влияют на саму измерительную аппаратуру, изменяя характеристики изоляционных материалов и токопроводящих элементов, а также параметры датчиков измерительных устройств. Воздействие этих эффектов нивелируется при помощи термостабилизаторы или компенсационные схемы.

Высокая влажность и состояние воздушной среды (кислотность / щёлочность) может вызывать утечку тока через изоляцию, окисление или коррозию токопроводящих контактов, что приводит к увеличению погрешностей и снижению чувствительности. В промышленности это решается применением герметичных корпусов и влагозащитных покрытий, в то время как токопроводящие элементы покрываются напылением из металлов, устойчивых к воздействию среды и не подвергающихся окислению или коррозии.

Вибрации и удары могут привести к механическому повреждению измерительных или управляющих блоков измерительного устройства. Для защиты от физических воздействий используются ударопрочные корпуса, выполненные по международным стандартам IP.

Наиболее востребованным на текущий момент считается помехозащищённость измерительных устройств. Помехи, исходящие из внешней среды способны оказывать воздействие на измерительные части и электронные схемы системы, индуцируя помехи в измерительных цепях. Все источники электромагнитных помех (ЭМП) можно разделить на естественные, находящиеся в окружающей среде и искусственные, или же техногенные. К естественным помехам относятся все помехи, вызываемые планетами и атмосферными излучениями. Техногенные так же подразделяются на непреднамеренные, испускаемыми объектами вследствие своей номинальной работы и преднамеренные, или же организованные. Такие помехи выступают в роли барьера, препятствующего принятию сигнала или же, наоборот, используются для нахождения каких-либо объектов.

В таблице 1 представлены основные источники непреднамеренных естественных и искусственных (техногенных) источников электромагнитных помех. Атмосферные помехи появляются благодаря многочисленным газовым разрядам, электрических колебаниях в атмосфере и электромагнитных полях, происходящих в атмосфере под воздействием разных климатических и географических условий. Космические же помехи появляются из-за шума неба, электромагнитных излучений других планет. Такие помехи зачастую находятся в одном диапазоне частот и имеют постоянную мощность излучения. Непреднамеренные помехи могут быть как непрерывными, как например передатчики радио- и телецентров, систем радиосвязи разного назначения, а также радиолокационных систем непрерывного действия, так и импульсными, показанными в таблице 2, и представляющими собой колебания, имеющие большую мощность излучения, но при этом из-за малой длительности занимающие широкую полосу частот.

Таблица 1 – Источники непреднамеренных помех

Источник ЭМП	РЧД	Мощность излучения
Атмосферные ЭМП	0,01 ÷ 30 МГц	60 Дбм/(м <sup>2</sup> *Гц)
Космические ЭМП	0,01 ÷ 10 ГГц.	120 Дбм/(м <sup>2</sup> *Гц)
Радиовещание	11,7 ÷ 12,7 ГГц 500 ÷ 2500 МГц 3 ÷ 30 МГц	до 500 Вт
Радиорелейная связь	1,8 ÷ 5,6 ГГц 2 ÷ 11,7 ГГц	до 50*10 <sup>3</sup> Вт
Телецентры	40 ÷ 230 МГц 470 ÷ 960 МГц	до 50*10 <sup>3</sup> Вт
РЛС непрерывного излучения	200 ÷ 500 МГц	-
Спутниковые линии связи	2,4 ÷ 16 ГГц	-
Системы зажигания	30 ÷ 300 МГц	-
Линии электропередач	14 кГц ÷ 1 ГГц.	-
Сварочные аппараты	750 кГц, 3 МГц, 20 МГц, 1 ГГц	-

Помехи от импульсных радиолокационных систем носят регулярный периодический характер выглядят как последовательность блоков радиоимпульсов.

Таблица 2 – Источники Импульсных непреднамеренных помех

Источник ЭМП	Частота несущего колебания (МГц)	Частота повторения (Гц)	Длительность импульса (мсек)
Судовые РЛС	3000–3100 9300–9500	500–6000	0,05–1,2
Самолетные РЛС	9200–9400	500–6000	0,05–1,2
Наземные РЛС УВД	3000 9000	500–6000	0,5–2
РЛС слежения за спутниками	2500–5000	-	-

Организованные помехи бывают непрерывными, хаотическими импульсными, детерминированные импульсные и маскирующие пассивные.

Непрерывные помехи представляют собой узкий спектр колебаний, имеющий равномерную плотность распределения в полосе излучения.

Хаотичные импульсные помехи представляют собой последовательность импульсов с заданной частотой заполнения и имеющие случайно изменяющиеся параметры амплитуды, длительности и интервалы между импульсами.

Детерминированные помехи являются многократными синхронными блоками радиоимпульсов, посылаемых в ответ на принятый сигнал.

Маскирующие помехи представляют собой дипольные отражатели.

В настоящее время используется множество способов уменьшения влияния электромагнитных помех на измерительные устройства. Основными методами считаются пространственная селекция, поляризационная селекция, компенсация радиопомех, частотная селекция, амплитудная и амплитудно-частотная селекция, временная селекция, адаптивная селекция. Ниже рассмотрены методы защиты от помех, используемые в измерительных антеннах.

Пространственная селекция основывается на различии координат прихода полезного сигнала и помех, т.е. пространственным расположением измерительного устройства и источника помех.

Селекция по поляризационному типу подразумевает выделение полезного сигнала на фоне помех посредством различия их поляризационной структуре.

Чтобы улучшить пространственную селекцию сигнала на фоне активных помех с 1942 года используются методы компенсации помех. Суть этого метода заключается в задействовании дополнительных антенн. Помехи, поступающие на вход основного и дополнительного приёмника равны по амплитуде и противоположны по фазе.

Селекция по частоте является основным средством от помех и основывается на отличии частотного спектра помехи от спектра полезного сигнала.

Амплитудная и амплитудно-частотная селекции основаны на том, что зачастую амплитуда сигнала и амплитуда помехи отличаются, за счёт чего и происходит выделение полезного сигнала. Однако в амплитудно-частотном методе используется так же и различие сигналов по частоте.

Селекция по времени основывается на различии помехи и полезного сигнала по частоте, зависимости фазы от времени и длительности этих сигналов.

Адаптивные системы являются активно развиваемым способом защиты от помех в настоящее время. Они основываются на принципе саморегулирования. Адаптация системы основывается на получении характеристики сигнала и использования этой характеристики в алгоритмах вычисления и автоматической коррекции системы под воздействия окружающей среды. Коррекция происходит по заданным критериям, в качестве которых могут быть выбраны параметры сигналов, поступающих на вход или выход системы. Такие системы могут работать в средах с отсутствующими алгоритмами аналитического анализа, в нелинейных системах.

Основные положения по помехозащищённости для измерительных устройств описаны в межгосударственном стандарте ГОСТ CISPR 16-1-1-2016.

### **Заключение**

В результате исследования установлено, что внешние воздействия оказывают значительное влияние на точность измерений электрических величин в полевых условиях. Одной из главных проблем на текущий момент является помехозащищённость измерительных устройств, особенно используемых в полевых условиях. Рассмотрены основные факторы, влияющие на точность, и даны рекомендации для их минимизации.

Приведены основные методы защиты измерительных устройств от воздействующих факторов. Дана классификация помех, влияющих на точность измерения и методы борьбы с ними. Для борьбы с внешними помехами используются такие методы, как:

методы селекции, среди которых так же есть адаптивная селекция, способная подавлять помехи в нелинейных средах с автоматической обработкой данных и коррекцией под воздействием среды. Для борьбы с внутренними помехами используются системы, не дающие широкого распространения помех в устройстве или схемы, разделяющие измерительную и силовую части устройства: экранирование, гальваническая развязка, заземление, фильтрация сигнала.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gordin, S. A. Modeling the combustion process of solid fuel boilers / S. A. Gordin, O. V. Kozlova, I. V. Zaychenko // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2021. – Vol. 200. – P. 136-146. – DOI 10.1007/978-3-030-69421-0\_15. – EDN CDDFKB.
2. Проектирование приборов, систем и измерительно-вычислительных комплексов : конспект лекций для студентов специальности 20010365 / сост. В. Н. Шивринский. – Ульяновск : УлГТУ, 2009. – 116 с.
3. Галев А. В., Косолапов А. С. Исследование влияния структурных помех на помехоустойчивость систем с широкополосными шумоподобными сигналами при когерентном приеме // *Машиностроение и компьютерные технологии*. 2012. №04.
4. Защита информационных радиосистем от помех: Учебное пособие / Под ред. И.Я. Орлова. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета, 2006. – 200 с.

УДК 621.317:621.315

Франчук Виктор Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Franchuk Viktor Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Петухов Александр Владимирович, старший преподаватель кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Petukhov Alexander Vladimirovich, Senior Lecturer of the «Department of Industrial Electronics and Innovative Technologies», Komsomolsk-na-Amure State University

#### **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ПОИСКА И АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ, ВЫЗЫВАЕМЫХ КОРОННЫМ РАЗРЯДОМ**

#### **ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF REALISING SYSTEMS FOR THE SEARCH AND ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC OSCILLATIONS CAUSED BY A CORONA DISCHARGE**

Аннотация. Рассматривается явление коронного разряда, процесс его появления, характеристики и влияние появления коронного разряда на процесс передачи электроэнергии. Освещаются применяемые на текущий момент методы для детектирования коронного разряда на линиях электропередач, а также их недостатки. Анализируется возможность реализации системы поиска и анализа коронного разряда по спектру частот электромагнитного излучения.

Abstract. The phenomenon of corona discharge, the process of its occurrence, characteristics and influence of the appearance of corona discharge on the process of electric power transmission are considered. The methods currently used for detecting corona discharge on power lines, as well as their disadvantages, are highlighted. The possibility of implementing a corona discharge search and analysis system based on the frequency spectrum of electromagnetic radiation is analyzed.

Ключевые слова: коронный разряд, ЛЭП, электромагнитные колебания, анализ, SDR.

Key words: corona discharge, power lines, electromagnetic oscillations, analysis, SDR.

## **Введение**

С каждым годом количество потребителей электрической энергии стремительно растёт. Это ставит перед энергетическим комплексом задачи по наращиванию мощностей и постройки большого количества систем распределения энергии к потребителям. В этом свете проблема коронного разряда на линиях электропередач становится всё более глобальной, что увеличивает её актуальность. Коронный разряд приводит не только к нарушению структуры изоляторов, но и может стать причиной крупных аварий. На данный момент существует ограниченное количество средств, способных фиксировать коронный разряд на линиях электропередач, однако все они имеют ряд существенных недостатков, главным из которых является то, что сигнал, получаемый на выходе таких устройств не пригоден для анализа. В связи с этим анализируется возможность построения устройства на базе SDR приёмника, получающего на вход спектр частот и способного получать на выходе полезный сигнал, используемый в дальнейшем для изучения коронных разрядов, возникающих на линиях электропередач.

## **Основная часть**

Коронный разряд является разновидностью тлеющего разряда, возникающего в резко неоднородных полях у электродов с большой кривизной поверхности (кромки, тонкие провода). При этом на близком расстоянии видно, что они окружены характерным свечением в форме короны, когда находятся в поле со значительно большей напряжённостью в сравнении со среднестатистическими значениями более 30 кВ/см. При возникновении коронного разряда на линии электропередач воздух, находящийся рядом начинает ионизироваться. Условиями появления коронного разряда можно считать условно высокое значение атмосферного воздуха в месте прохождения ЛЭП, в том числе, а также в местах понижения сопротивления изоляции изоляторов. Длительное тление коронного разряда приводит к изменению свойств диэлектрика изолятора, используемого в ЛЭП, а также его пробую и возникновению аварийного режима работы ЛЭП. При возникновении аварийных режимов работы ЛЭП нарушается подача электроэнергии потребителям.

Для предупреждения аварийных ситуаций в настоящее время во время профилактических обходов ЛЭП используют оптические методы обнаружения короны. При явлении коронного разряда испускаются частицы, характерные для ультрафиолетовой части спектра энергию и длину волны. Это свойство используется для нахождения коронного разряда и определения его параметров при помощи чувствительные УФ-системы получения изображения. Само излучение находится в диапазоне от 40 и до 400 нм ультрафиолетового спектра, тогда как на длинноволновую его часть приходится часть солнечного излучения, которое засвечивает излучение короны. При детекции коронного разряда необходимо отсекал помехи и выделять часть спектрального диапазона, пригодного для получения чистого сигнала, ограниченного 240 – 280 нм при помощи специальной камеры, чувствительной в этом диапазоне, что повышает стоимость оборудования для поиска коронного разряда в ЛЭП.

Проблемой определения коронного разряда является тот факт, что на текущий момент существуют только устройства на основе электронно-оптического преобразования, дающие на выходе аналоговый сигнал, слабо пригодный для реального изучения коронного разряда. Кроме того, такие приборы невозможно эксплуатировать в дневное время суток, поскольку те, в свою очередь, начинают деградировать при попадании солнечного света.

В тоже время при возникновении коронных разрядов возникают электромагнитные колебания в широком спектре радиочастот, которые можно принять радиоприёмным устройством, однако возникает задача спектрального анализа радиосигнала в принимаемой полосе частот. Для анализа радиочастотного спектра требуется применение быстродействующих цифровых сигнальных процессоров DSP, что усложняет задачу построения приёмного устройства.

Для реализации системы, позволяющей обнаруживать коронные разряды по спектру частот электромагнитного излучения, возникающего при коронном разряде, предлагается идея использования в качестве базы SDR приёмника с использованием платформы HackRF, с подключенной на его вход направленной антенной.

Суть работы SDR приёмника основана на том, что при помощи программного обеспечения устанавливается или изменяется рабочие радиочастотные параметры, включая, в частности, диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность, полосу пропускания и ряд других параметров.

Уникальность платформы HackRF заключается в его технических параметрах, при которых устройство позволяет не только и обрабатывать радиосигналы, поступаемые на вход антенны, но и передавать радиосигналы в диапазоне 1 МГц – 6 ГГц с шириной полосы до 20МГц.

Платформа HackRF поддерживает работу с различной шириной полосы пропускания, а именно от 1 до 20МГц, и эту полосу необходимо сформировать программно. Существует 2 способа реализации структуры радиоприёмного устройства: при помощи программного кода на C++ или при помощи GNU Radio. Первый способ не отличается простотой и лёгкостью написания, требует достаточно хорошо развитый математический аппарат, однако имеет более гибкий функционал.

GNU Radio – пакет программ, распространяющийся бесплатно и имеющий открытый исходный код. Система GNU включает в себя большое число готовых блоков, имеющих интерфейс на языке Python, а сами блоки написаны на C++. В GNU Radio входит также визуальный редактор GNURadio Companion, позволяющий визуально соединять блоки в готовое “устройство” не используя язык программирования. Это позволяет реализовать гибкие, быстро конфигурируемые системы для выделения спектра частот электромагнитных колебаний и подходит для экспериментов, связанных с исследованием электромагнитных колебаний, вызываемых коронным разрядом.

#### **Заключение**

В настоящее время преобладает тенденция на широкомасштабное наращивание объёмов производства электроэнергии и продолжающуюся электрификацию. Одним из главных негативных факторов, возникающих на ЛЭП, является появление коронного разряда, способного привести к изменению характеристик изоляции или стать причиной аварии на линиях электропередач. Существующее на текущий момент оборудование имеет существенные недостатки. В связи с этим проведен анализ реализации системы для поиска и анализа электромагнитных колебаний, вызванных появлением коронного разряда с применением SDR приёмника на базе платформы HackRF, позволяющей достичь гибкости в использовании и конфигурировании устройства.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Морозов Б. Н., Соколов Е. Г. Источники внешних высокочастотных помех на линии связи широкополосного доступа // Т-Comm. 2010. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istochniki-vneshnih-vysokochastotnyh-pomeh-na-linii-svyazi-svyazi-shirokopolosnogo-dostupa>
2. Ширмаммедов Тойлыныяз Ашырмырадович, Агаев Арслан Язмухаммедович, Батыров Сердар Реджепдурдыевич **КОРОННЫЙ РАЗРЯД И ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ** // Вестник Сыктывкарского университета. Серия 2. Биология. Геология. Химия. Экология. 2023. №1 (25). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/koronnyy-razryad-i-ego-ekologicheskoe-vliyanie>
3. Коронный разряд - возникновение, особенности и применение. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://electricalschool.info/electrojavlenija/2020-koronnyy-razryad.html>

УДК 621.865

Хохлов Роман Евгеньевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Hokhlov Roman Evgenevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Стельмашук Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Stelmashchuk Sergey Valerevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА МОБИЛЬНОГО ТРЕХКОЛЕСНОГО РОБОТА SIMULATION OF A DIFFERENTIAL DC ELECTRIC DRIVE OF A MOBILE TRICYCLE ROBOT**

Аннотация. Основным достоинством дифференциального привода заключается в простоте реализации маневрирования мобильного робота. Поворот реализуется разностью скоростей ведущих колес. Нет необходимости в применении дополнительного привода для поворота оси ведущих колес. Данный подход к маневрированию определяет другие требования к управлению движением мобильного робота. Здесь, в свою очередь, для исследования траекторий движения мобильного робота, возникает необходимость в создании модели мобильного робота, учитывающего его кинематическую схему.

Abstract. The main advantage of the differential drive is the ease of implementation of maneuvering a mobile robot. The rotation is realized by the speed difference of the driving wheels. There is no need to use an additional drive to turn the axis of the driving wheels. This approach to maneuvering defines other requirements for controlling the movement of a mobile robot. Here, in turn, in order to study the trajectories of a mobile robot, it becomes necessary to create a model of a mobile robot that takes into account its kinematic scheme.

Ключевые слова: кинематика робота, маневрирование робота, траектория движения робота, управление роботом, модель робота.

Key words: robot kinematics, robot maneuvering, robot trajectory, robot control, robot model.

### **Введение**

Дифференциальный электропривод (ДЭП) получил широкое применение в мобильной робототехнике. ДЭП состоит из нескольких электродвигателей. Каждый двигатель ДЭП соединен с колесом мобильного робота (МР), называемого ведущим колесом. Система управления ДЭП задает различные скорости вращения двигателям, а, следовательно, колесам МР. За счет рассогласования скоростей вращения колес осуществляется маневрирование МР.

Исследовательский интерес заключается в формировании траектории маневра МР в зависимости от управления двигателями ДЭП. Это поможет на основе анализа зависимости параметров маневра МР от параметров управления ДЭП синтезировать законы управления ДЭП с целью решения траекторной задачи движения МР.

Для решения поставленной задачи осуществляется моделирование траектории маневра МР при изменении напряжения на якоре двигателей постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ-НВ) мобильного трехколесного робота, у которого два колеса являются ведущими. Математическая модель ДЭП представляет собой две модели ДПТ-НВ связанные между собой уравнениями кинематики движения МР [1].

### **Основная часть**

Кинематическая схема мобильного трехколесного робота представлена на рисунке 1.

Кинематические уравнения движения данного МР:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = V \cos x_3; \\ \dot{x}_2 = V \sin x_3; \\ \dot{x}_3 = \omega, \end{cases} \quad (1)$$

где  $x_1, x_2, x_3$  – координаты и угловое положение МР (точки  $P$ ) в абсолютной системе координат  $X_1OX_2$ ,  $V = \frac{r}{2}(\omega_1 + \omega_2)$  – линейная скорость движения МР,  $\omega = \frac{r}{D}(\omega_1 - \omega_2)$  – угловая скорость поворота МР,  $\omega_1, \omega_2$  – скорость вращения колес МР и валов электродвигателей,  $r$  – радиус колес,  $D$  – длина оси ведущих колес.

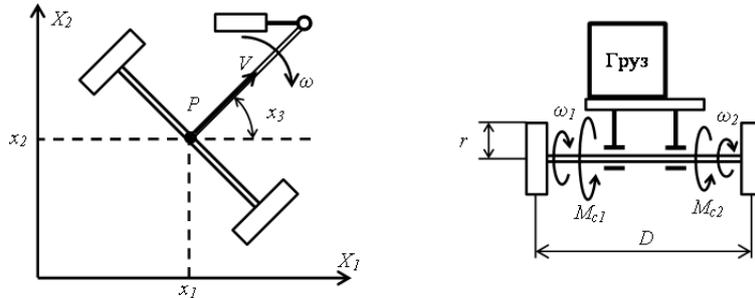


Рисунок 1 – Кинематическая схема мобильного трехколесного робота

Колеса вращаются отдельными двигателями и не связаны между собой механически. Принимается условие, что используются электродвигатели одной марки равной мощности и имеют одинаковые параметры. Предполагается, что груз неравномерно распределен на МР, что вызывает не равномерную нагрузку на валы ДПТ-НВ. На рисунке 2 представлена модель двух ДПТ-НВ связанных между собой структурой, реализующей уравнения (1).

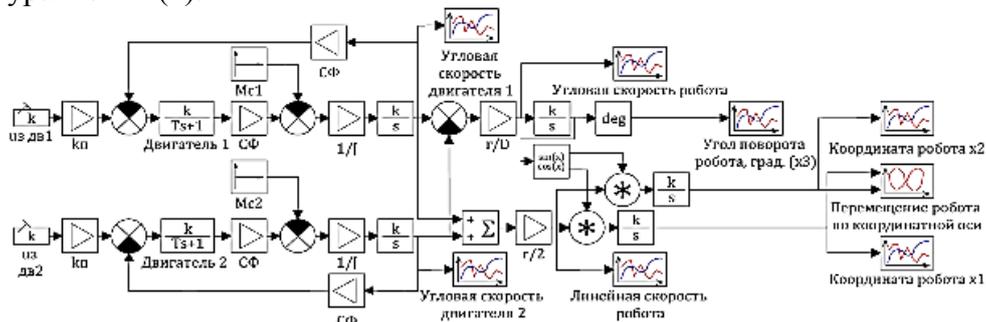


Рисунок 2 – Модель дифференциального электропривода мобильного трехколесного робота

На рисунке 3 представлена траектория движения МР (а именно точки  $P$ ) на плоскости  $X_1$  и  $X_2$  при различных значениях сигналов управления силовыми преобразователями ДПТ-НВ.

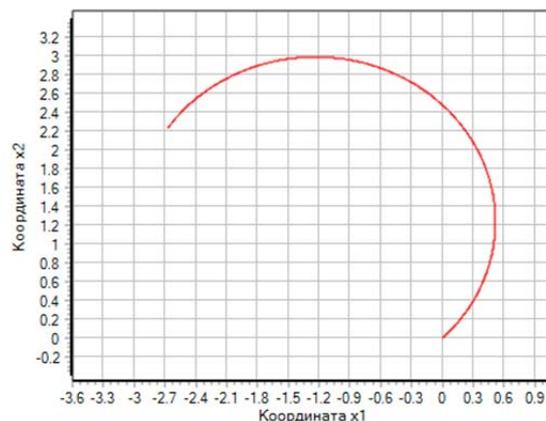


Рисунок 3 – График траектории движения МР при различных управляющих воздействиях

## **Заключение**

В статье проведено моделирование ДЭП на базе ДПТ-НВ. Модель ДЭП позволит опробовать различные принципы управления ДЭП. Например, использование систем управления моментом или скоростью двигателей. Выяснить вопрос о раздельном управлении ДПТ-НВ или необходимо использовать взаимосвязанную систему управления. Эти вопросы, связанные с управлением электроприводом, решаются на предварительной стадии синтеза системы управления роботом. Для решения задачи синтеза системы управления роботом необходима модель МР с учетом типа электропривода.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Кочетков, С. А. Метод декомпозиции в задачах управления мобильными роботами / С. А. Кочетков, В. А. Уткин // Автоматика и телемеханика. – 2011. – № 10. – С. 86-103. – EDN OHJMST.
2. Мартыненко, Ю. Г. Управление движением мобильных колёсных роботов / Ю. Г. Мартыненко // Фундаментальная и прикладная математика. – 2005. – Т. 11, № 8. – С. 29-80. – EDN HSMCHN.

УДК 621.365

Цыкунова Анна Андреевна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tsykunova Anna Andreevna, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Сериков Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Serikov Alexander Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **СПОСОБЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ПЕРЕД ШТАМПОВКОЙ METHODS OF HEAT TREATMENT OF WORKPIECES BEFORE STAMPING**

Аннотация. В современном машиностроительном производстве широко используется нагрев для изменения физических свойств металлов и сплавов перед технологическими операциями по изготовлению деталей с нужными характеристиками. В данной работе рассматриваются основные виды нагрева: прямой и косвенный. Каждый из этих видов имеет свои способы нагрева. Проведя анализ достоинств и недостатков, аргументирован выбор электроконтактного нагрева, как наиболее эффективного способа нагрева листовых заготовок разных размеров перед технологической операцией – штамповкой.

Abstract. In modern mechanical engineering production, heating is widely used to change the physical properties of metals and alloys before technological operations to manufacture parts with the required characteristics. This paper examines the main types of heating: direct and indirect. Each of these types has its own heating methods. Having analyzed the advantages and disadvantages, the choice of electric contact heating is substantiated as the most effective method of heating sheet blanks of different sizes before the technological operation - stamping.

Ключевые слова: термическая обработка, способы нагрева, заготовка, штамповка.

Key words: heat treatment, heating methods, billet, stamping.

## **Введение**

Ключевым этапом некоторых технологических операций по изготовлению деталей различного назначения является термическая обработка заготовок из металлов и

сплавов. Этот процесс может выполняться на различных стадиях производства деталей машин и служит промежуточной операцией. Оказывая, тепловое воздействие в течение всего процесса, данный способ дает возможность изменять физические свойства металлов. Таким образом, такую обработку применяют для получения совокупности механических, эксплуатационных и химических свойств для улучшения структуры и снижение твердости сплавов и впоследствии для улучшения технологичности используемого металла при изготовлении детали [1]. Нагрев является достаточно энергоемким технологическим процессом, причем определенные параметры нагрева (например, равномерность распределения температуры, скорость изменения температуры, время нагрева и прочие) являются критическими при изготовлении качественных изделий. Различные способы нагрева имеют свои особенности, определяющие индивидуальные области их использования. Изучение существующих способов нагрева и выбор наиболее оптимального для определенных заготовок перед технологической операцией штамповкой является актуальной задачей. Нагрев металла является важным этапом в процессе термической обработки и определяется температурой, продолжительностью нагрева и скоростью охлаждения.

Способ передачи тепла к нагреваемому объекту оказывает влияние на длительность нагрева. Нагрев бывает прямой и косвенный. Прямой нагрев металла посредством внутреннего источника тепла делится на электроконтактный и индукционный. Косвенный нагрев, в свою очередь, осуществляется с использованием внешних источников тепла, это могут быть электрические печи, либо открытый факел. Выбор того или иного метода нагрева, должен базироваться на согласовании технологических требований к термической обработке, соблюдение равномерности и точности достижения необходимой температуры, а также учитывать экономическую составляющую используемого метода [2].

Целью данной работы является изучение существующих способов термической обработки заготовок и определение наиболее эффективного способа для осуществления нагрева листовых заготовок в условиях промышленного производства.

### **Основная часть**

Прямой электронагрев подразделяется на два вида: электроконтактный и индукционный. При механической и термической обработке деталей несложной формы (вал, трубы, ленты), при контактной сварке, прогреве трубопроводов используют электроконтактный нагрев [3]. При протекании электрического тока по заготовке электрическая энергия преобразуется в тепловую. Схема электроконтактной установки представлена на рисунке 1.

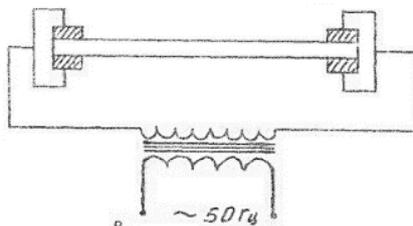


Рисунок 1 – Схема электроконтактной установки

К преимуществам электроконтактного нагрева относят: высокую производительность при компактных размерах элементов установки, что позволяет эффективно использовать пространство и сокращать экономические затраты; отсутствие дополнительных нагревателей позволяет избежать ограничений по температуре нагрева; более равномерное распределение тепла по всей поверхности заготовки способствует улучшению качества обработки. Однако, среди недостатков электроконтактного нагрева выделяют: сложности в обеспечении надежного контакта между заготовкой и контактным аппаратом, особенно при высоких токах, что может привести к потерям энергии и

перегреву; трудности с изменением и автоматическим регулированием температуры, из-за особенностей конструкции и используемых материалов [4].

Другим видом прямого электронагрева является индукционный. Осуществляется этот процесс в переменном магнитном поле. Интенсивный нагрев создается путем использования специальных устройств – индукторов, которые питаются от сети или от генераторов тока высокой частоты (рисунок 2). Индуктор можно рассматривать, как первичную обмотку воздушного трансформатора, а нагреваемое тело будет выступать в роли вторичной обмотки. При помещении заготовки в область переменного электромагнитного поля в электропроводном материале наводится электродвижущая сила, что приводит к протеканию электрического тока. Заготовка будет нагреваться под действием этого тока [5]. Индукционный нагрев активно применяют для поверхностной закалки деталей. Так же такой вид нагрева используется для профильного проката биметаллических деталей и пайки сложных изделий.

Ключевыми преимуществами индукционного нагрева являются: высокая скорость нагрева, что значительно ускоряет производственные процессы; обеспечение нужного распределения температурного поля по объему обрабатываемой заготовки; относительно проще совмещать с другими технологическими операциями. Например, индуктор можно размещать непосредственно в зоне штамповочного пространства, что способствует компактному размещению оборудования, снижая тепловые потери, возникающие при транспортировке заготовок от нагревателя к штампу. Однако, недостатками индукционного нагрева являются значительные капитальные затраты на основное оборудование и необходимость разработки индивидуальных индукционных устройств для различных размеров и форм заготовок.

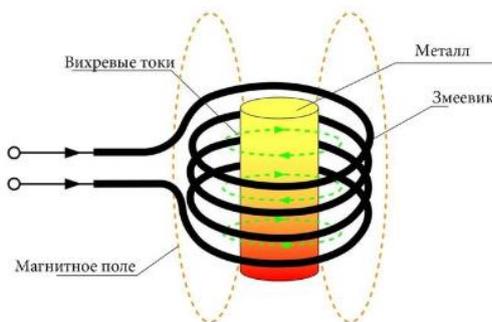


Рисунок 2 – Схема работы индукционного нагрева

Электродуговой нагрев является еще одним способом прямого нагрева. Канал дуги не однороден по длине и состоит из трех последовательных участков, а сама дуга представляет собой ионизированную смесь газов между электродами (анодом и катодом). На рисунке 3 показаны элементы и участки электрической дуги. В момент горения дуги, выделяется большое количество тепла на электродах, именно этот процесс является основным для работы электродуговых печей прямого нагрева, и чаще всего используется в технологии электродуговой сварки.



Рисунок 3 – Электрическая дуга (а) постоянного тока и распределение напряжения (б) на ее элементах

При косвенном электронагреве тепло, генерируемое в электронагревателе, передается заготовке путем теплообмена. Примером является нагрев заготовки в электрических печах сопротивления. Нагрев осуществляется в рабочей камере, где расположены нагревательные элементы, изготовленные из жаропрочных материалов с высоким сопротивлением. Тепло от нагревательных элементов передается на заготовку, затем проникает во внутренние слои путем теплопроводности. Конвекция в таком процессе составляет очень малую часть. Мощность электрических печей сопротивления варьируется от долей киловатта до нескольких мегаватт.

Для плавного преобразования мощности печи сопротивления к требуемому температурному диапазону, большинство печей работают в режиме автоматического контроля и регулирования температуры, это снижает удельный расход электроэнергии в сравнении с ручным управлением. На рисунке 4 показаны виды схем электрических печей сопротивления периодического действия. Эти печи используют для обработки изделий с часто меняющейся номенклатурой.

Электropечи широко используют для нагрева цветных сплавов и металлов перед их деформированием, а также для нагрева небольших стальных заготовок. Достоинствами такого способа нагрева признают: простору регулирования теплового режима, что позволяет контролировать температуру всех процессов, соблюдая определенный температурный режим; качественную герметизацию рабочего пространства печи, что позволяет минимизировать потери тепла и защитить деталь от внешних факторов воздействия; обеспечение безокислительного нагрева, это особенно важно для материалов, которые могут окисляться при высоких температурах, что позволяет сохранить их свойства и характеристики.

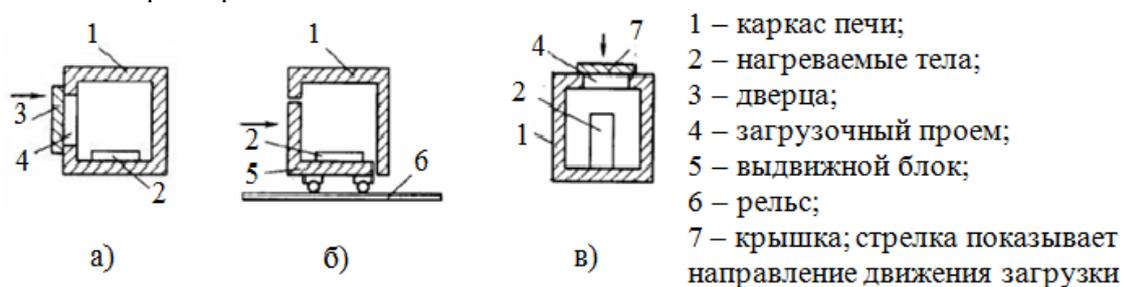


Рисунок 4 – Схема печей периодического действия: а – камера с загрузкой через окно; б – камера с выдвижным блоком; в – шахта

Однако у такого способа тоже есть свои недостатки: высокая стоимость производства комплектующих элементов; нагревательные компоненты могут выйти из строя из-за влияния химических факторы с поверхности печи при рабочих температурах, что указывает на невысокую стойкость и требует регулярной замены и обслуживания; а также низкая производительность, что снижает общую эффективность производственного процесса.

### Заключение

Таким образом, в результате анализа существующих способов термической обработки заготовок, было определено, что электроконтактный нагрев считается более универсальным и обладает большими преимуществами и обширной сферой применения. Можно нагревать заготовки разных форм и размеров в то время, как при индукционном нагреве, требуются дополнительные индукторы для каждой заготовки. В сравнении с печами сопротивлений, электроконтактный нагрев происходит гораздо быстрее и позволяет сохранить более качественную структуру металла.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Картонова, Л. В. Теория и технология термической обработки: учеб. пособие / Л. В. Картонова, В. А. Кечин. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2020. – 128 с.

2. Современные способы нагрева и оборудование в термическом производстве /сост. Ю.Д. Корягин, С.И. Ильин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 32 с.
3. Марьин, С.Б. Установка для электротермического воздействия на заготовку / С.Б. Марьин, А.Ю. Гетопанов, В.А. Пхью, В.В. Григорьев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2020. – № 7(724). – С. 69-75.
4. Юдаев, И.В. Светотехника и электротехнология. Часть II. Электротехнология: электротермия: Курс лекций / А.М. Глушков, И.В. Юдаев. – Волгоград: Волгоградская ГСХА, 2008. – 165 с.
5. Петров, П.А. Нагрев и нагревательные устройства в кузнечном производстве: Учебное пособие для вузов / П.А. Петров, Е.В. Крутина, Ю.Г. Калпин – М.: МГТУ «МАМИ», 2010.– 110 с.

УДК 621.316.35

Цыкунова Анна Андреевна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tsykunova Anna Andreevna, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Янченко Андрей Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Yanchenko Andrey Vyacheslavovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Electromechanics Department, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТОВ ПРИ РАБОЧИХ ТОКАХ DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL STAND FOR MEASURING THE TRANSIENT RESISTANCE OF CONTACTS AT OPERATING CURRENTS**

Аннотация. В данной работе рассматриваются вопросы разработки стенда для измерений и исследования переходных сопротивлений в контактах мощных нагревательных устройств. При проектировании и электромагнитном расчете таких устройств, в нагревательном контуре которых протекают большие токи при малых напряжениях, знание переходных контактных сопротивлений начинает играть большую роль. В работе предложена схема экспериментального стенда с индукционно-трансформаторным генератором, позволяющая проводить измерение контактных сопротивлений при протекании больших токов с высокой точностью. Рассмотрена методика расчета многослойных контактов и выбора измерительных приборов.

Abstract. In this paper, the issues of developing a stand for measuring and investigating transient resistances in contacts of powerful heating devices are considered. In the design and electromagnetic calculation of such devices, in the heating circuit of which high currents flow at low voltages, knowledge of transient contact resistances begins to play an important role. The paper proposes a scheme of an experimental stand with an induction transformer generator, which allows measuring contact resistances during high currents with high accuracy. The method of calculating multilayer contacts and the choice of measuring devices is considered.

Ключевые слова: переходное сопротивление контактов, рабочий ток, индуктор, микроомметр, измерительный трансформатор тока

Key words: contact transient resistance, operating current, inductor, micro ohmmeter, current measuring transformer

### **Введение**

При проектировании устройств, связанных с энергетикой, например, при проектировании мощных нагревательных устройств с использованием больших токов (печи

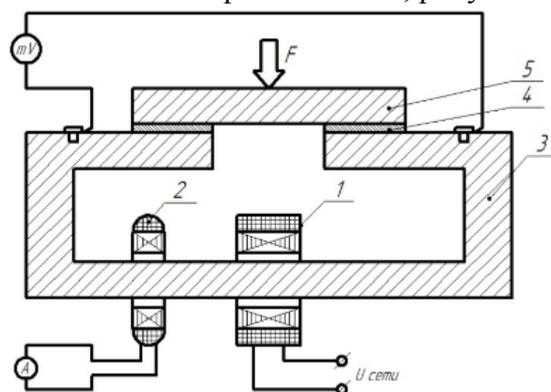
сопротивления), часто возникает необходимость определения активного электрического сопротивления, в том числе переходного сопротивления контактов между металлами и сплавами [1,2]. Переходное сопротивление контакта (ПСК)  $R_{ПК}$  достаточно мало и находится в диапазоне 0,01 Ом до 0,001 мОм. Для измерения сопротивлений величиной менее чем 1 мОм используют разновидность омметра – микроомметр. Микроомметры разнообразных марок служат для определения параметров электрических цепей, сопротивлений контактов на выключателях различного типа – болтовых, паяных и на других объектах электрохозяйства.

Современные микроомметры имеют недостатки: высокая стоимость и стандартный ток измерения сопротивления. Учитывая, что сопротивление контактов зависит от условий их эксплуатации, таких как: величина тока, температура, давление между контактами, т.е. такое сопротивление имеет изменчивую природу, необходимо проводить измерение контактного сопротивления при условиях, близких к условиям эксплуатации контактов.

### Основная часть

Для приближения результатов измерения  $R_{ПК}$  к реальным условиям эксплуатации предлагается концепция экспериментального стенда с индукционно-трансформаторным источником тока (более 1000 А), работающего от обычной сети 220 В, 50 Гц [3,4].

Экспериментальный стенд состоит из замкнутого контура большого сечения, рассчитанного на максимальный ток через контакты, рисунок 1.



1 – индуктор; 2 – измерительный трансформатор (ИТТ); 3 – токозамыкающий контур; 4 – контактообразующий слой; 5 – токопроводящая перемычка под давлением (сила  $F$ )

Рисунок 1 – Принципиальная схема экспериментального стенда

Измерения  $R_{ПК}$  проводятся по методу «вольтметра-амперметра», где в качестве вольтметра выступает милливольтметр, а в качестве амперметра – измерительный трансформатор тока (ИТТ) типа TDM ТТН85/1000/5-15VA/0,5. Примерный диапазон милливольтметра зависит от количества последовательно включенных контактов и их индивидуальных свойств. Оценка показаний милливольтметра может быть сделана по формуле:

$$U_{ПК} = I \cdot R_{ПК} \cdot N, \quad (1)$$

где  $I$  – ток через контакт,

$N$  – количество контактов.

Оценим ПСК для контактной пары медь-медь по формуле :

$$R_{ПК} = \frac{K_{ПК}}{(0,102 \cdot F_k)^m}, \quad (2)$$

где  $K_{ПК}$  – коэффициент, учитывающий материал контакта;  $F_k$  – сила нажатия, Н;  $m$  – коэффициент формы контакта (при плоскостной форме поверхности  $m = 0,8$ ).

Тогда по формуле (2) при значении  $K_{ПК}$  из [1] и силе нажатия 300 Н получим:

$$R_{\text{пк}} = \frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{(0,102 \cdot 300)^{0,8}} = 0,6 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

При включении милливольтметра за пределы наших контактов, прибор покажет двойное сопротивление, то есть  $R_{\text{пк}}$  двух контактов будет составлять  $1,2 \cdot 10^{-5}$  Ом.

Также можно между контактами вводить дополнительные слои, чтобы изучить сопротивление различных контактных пар, рисунок 2. При одном дополнительном слое будем измерять 4 контактных перехода ( $4R_{\text{пк}}$ ), при двухслойной конструкции измеряем  $6R_{\text{пк}}$ .

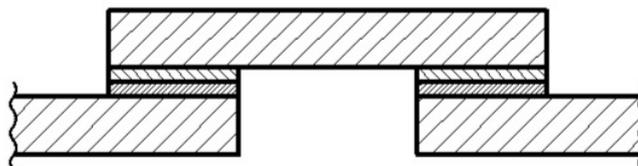


Рисунок 2 – Фрагмент экспериментальной установки с дополнительными слоями в контактах (при 2-х слоях получаем 6 переходных контактов)

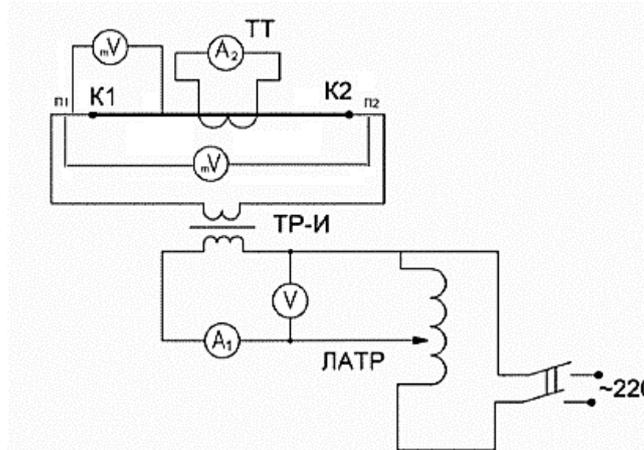
Путем вычисления известных составляющих формулы  $R_{\text{пк}}$ , можно измерять переходные сопротивления в различных сочетаниях металлов, например, медь – сталь и др.

В таблице 1, приведены расчётные данные с учетом (1) для нескольких пар контактов материала медь-медь, при разных значениях протекающего по контуру схемы тока  $I$ .

Таблица 1 – Расчётные данные для контакта «медь – медь»

$R_{\text{пк}}$ , Ом· $10^{-5}$	$I$ , А	$U_{\text{пк}}$ , мВ	2 контакта	4 контакта	6 контактов
			$U_{\text{пк}}$ , мВ		
0,6	1	0,006	0,012	0,024	0,036
0,6	100	0,6	1,2	2,4	4,8
0,6	1000	6	12	24	36
0,6	5000	30	60	120	180

Электрическая схема экспериментального стенда показана на рисунке 3.



ТТ – измерительный трансформатор тока; К1 и К2 точки подключения переключки;  
 П1 и П2 – точки подключения милливольтметра; mV – милливольтметр;  
 ТР-И – трансформатор-индуктор; А1 – амперметр первичного тока,  
 А2 – амперметр вторичного тока (через ИТТ)

Рисунок 3 – Электрическая схема экспериментального стенда

На рисунке видно, что в схеме присутствует ЛАТР, с помощью которого можно регулировать подаваемое напряжение на трансформатор-индуктор.

## **Заключение**

Таким образом, в данной работе была предложена конструктивная компоновка экспериментального стенда для измерений переходного сопротивления контактов при рабочих токах до 1000 А и выше. Приведена электрическая схема стенда, позволяющая регулировать с помощью ЛАТРа рабочий ток через исследуемые контакты. На основе проведенных расчетов и исследований, можем сделать вывод, что при протекании через контакты рабочих токов повышается достоверность и точность измерения  $R_{пк}$ . При использовании милливольтметра и ИТТ с классом точности не менее 0,5 погрешность измерения  $R_{пк}$  согласно (1) составит не более 1%. Экспериментальный стенд позволяет исследовать контактные сопротивления для различных сочетаний контактов.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Сахаров П.В. Проектирование электрических аппаратов (Общие вопросы проектирования). Учебное пособие для студентов электротехнических вузов. М., «Энергия», 1971. – 560 с.
2. Тураков И.А., Янченко А.В. Экспериментальная установка для исследования коэффициента теплоотдачи токопроводящих деталей при штамповке / Ученые записки КнАГТУ, №7(71), с.95-100. 2023г.
3. Тураков И.А., Янченко А.В. Экспериментальная установка для оценки нагрева заготовок перед штамповкой. / В сборнике: наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С.245-247.
4. Саяпина П. О., Крупский Р. Ф. Информационно-измерительная электромеханическая система // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – измерительная электромеханическая система 2023. – № V (69).

УДК 681.511.42, 681.511.46

Шапараев Федор Андреевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shaparaev Fyodor Andreevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Дерюжкова Нелли Егоровна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Deryuzhkova Nelly Egorovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **МЕТОДЫ УЧЕТА МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕГУЛЯТОРЕ МОЩНОСТИ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ**

## **METHODS FOR ACCOUNTING MECHANICAL PROCESSES IN THE POWER REGULATOR OF AN ARC STEEL MELTING FURNACE TO INCREASE OPERATION EFFICIENCY**

Аннотация. В данной работе была рассмотрена задача повышения эффективности регулирования мощности дуговой сталеплавильной печи путем учета механических процессов, возникающих при ударе электрода о шихту. Были приведены особенности механических воздействий, такие как вибрации и разрывы дуги, а также их влияние на работу оборудования. Рассмотрены методы компенсации механических возмущений в регуляторе мощности.

Abstract. This paper examines the problem of increasing the efficiency of electric arc furnace power regulation by taking into account mechanical processes that occur when the electrode hits the charge. Features of mechanical effects, such as vibrations and arc breaks, as well as

their influence on equipment operation, are presented. Methods for compensating mechanical disturbances in the power regulator are considered.

Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь, механические процессы, регулятор мощности, адаптивное управление, стабилизация дуги.

Key words: electric arc furnace, mechanical processes, power controller, adaptive control, arc stabilization.

### **Введение**

В современном производстве дуговые сталеплавильные печи являются главным оборудованием для получения высококачественной стали для различных отраслей промышленности. Одна из основных задач в их эксплуатации является обеспечение стабильного горения дуги, что достигается с помощью системы регулирования мощности. В процессе плавки электроды взаимодействуют с шихтой, и механические процессы (удары, трение, вибрации) приводят к нарушению стабильности горения дуги, разрывам электрического контакта, износу оборудования и увеличению энергопотребления. Важно адаптировать систему регулирования мощности к этим воздействиям. Исследование методов учета механических воздействий, а также их интеграция в систему регулирования мощности дуговой сталеплавильной печи открывают новые возможности для совершенствования металлургических технологий. Поэтому целью данной работы является разработка методов повышения эффективности системы регулирования мощности дуговой сталеплавильной печи за счет учета механических процессов [1; 5].

### **Основная часть**

Основными методами учета механических процессов в регуляторе мощности являются [3]:

1. Датчики и системы мониторинга. Учет механических процессов начинается с точной регистрации таких параметров как вибрация, усилие и перемещение электрода. Для этого применяются:

1) Датчики усилий и вибраций. Датчики устанавливаются на держатели электродов и фиксируют ударные нагрузки. Полученные данные с этих датчиков передаются в систему управления для оперативной корректировки.

2) Системы мониторинга перемещений. Для этого применяются оптические или лазерные датчики, которые позволяют отслеживать микроперемещения электродов, вызванные вибрациями или ударами. Полученные данные с этих датчиков используются для построения модели текущего состояния системы и служат основой для принятия решений регулятором.

2. Адаптивные алгоритмы управления. Адаптивное управление учитывает механические воздействия в режиме реального времени. Это включает [2]:

1) Компенсация механических возмущений. Регулятор использует информацию о силе и направлении удара для изменения параметров перемещения электрода, тем самым снижая амплитуду вибраций.

2) Подстройка режима работы дуги. При изменении положения электрода или кратковременном прерывании дуги алгоритмы автоматически регулируют ток и напряжение, чтобы восстановить дугу, а также стабилизировать мощность.

3) Искусственный интеллект и машинное обучение. Использование искусственного интеллекта позволяет прогнозировать вероятные механические воздействия и заранее изменять параметры работы системы.

3. Модернизация приводов электродов. Механические возмущения создают высокие нагрузки на приводы, поэтому их модернизация является важным этапом. Для этого применяются [5]:

1) Частотно-регулируемые приводы. Такие приводы осуществляют плавное и точное перемещение электродов. Благодаря частотно-регулируемым приводам можно минимизировать усилия при взаимодействии с шихтой.

2) Амортизирующие системы. Специальные амортизационные механизмы и демпферы поглощают часть энергии ударов, тем самым уменьшают вибрации и защищают оборудование от повреждений.

3) Высокоскоростные приводы. Обеспечивают быструю реакцию на изменения в положении электрода, что особенно важно для компенсации внезапных возмущений.

4. Интеграция с цифровыми системами управления. Для эффективного учета механических процессов необходима автоматизация управления через цифровые платформы [2]:

1) SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition). Они позволяют в реальном времени анализировать параметры дуги, усилия и вибрации, а также управлять настройками регулятора.

2) Интернет вещей (IoT). Устройства IoT интегрируются в систему управления, передают данные о состоянии электродов и шихты для улучшения алгоритмов регулирования.

Внедрение регулятора мощности, учитывающего механические процессы, оказывает существенное экономическое значение. Стабильная дуга снижает потери энергии на восстановление электрической дуги, а также позволяет уменьшить общее энергопотребление. Адаптивное управление поддерживает оптимальный режим работы, уменьшая затраты на избыточное электричество. Экономия энергии составляет до 10–15% на одну плавку [4].

Использование амортизирующих систем и плавного регулирования перемещения электрода уменьшает ударные нагрузки, вследствие чего уменьшается вероятность поломок электродов, снижаются расходы на обслуживание. Срок службы оборудования увеличивается до 20–25% [3; 4].

Стабильная дуга обеспечивает равномерный температурный режим, что приводит к снижению количества дефектов стали, а также к улучшению качества конечного продукта. Минимизация вибраций и быстрое восстановление параметров дуги сокращают длительность плавки, что увеличивает производительность печи. Прирост составляет 5–10% в зависимости от типа шихты и мощности печи [1; 4].

### **Заключение**

Учет механических процессов при ударе электрода с шихтой в системе регулирования мощности дуговой сталеплавильной печи является важным направлением для повышения эффективности и экономичности металлургического производства. Применение современных датчиков, адаптивных алгоритмов управления и модернизированных приводов позволяет уменьшить негативное влияние механических возмущений, повышая стабильность дуги и сокращая энергозатраты. Экономический эффект внедрения таких методов выражается в снижении затрат на электроэнергию и оборудование, в повышении качества выпускаемой продукции. Таким образом, можно сделать вывод о том, что разработка и применение регуляторов, учитывающих механические процессы, способствует развитию устойчивых и эффективных технологий в металлургической отрасли [1; 5].

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Маслов, Д.В. Анализ причин и последствий поломок электродов в дуговой сталеплавильной печи / Д.В. Маслов, В.П. Рубцов // Вестник МЭИ. – 2013. – №2. – С. 69–72.
2. Маслов, Д.В. Усовершенствованный регулятор мощности дуговой печи постоянного тока / Д.В. Маслов, В.П. Рубцов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Девятнадцатая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов : тез. докл. в 3-х томах. Т.2. Москва : Издательский дом МЭИ, 2013. – С. – 307.
3. Елизаров, К.А. Датчик положения электрода дуговой сталеплавильной печи / К.А. Елизаров, В.А. Елизаров, Д.В. Маслов, В.П. Рубцов // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век : сб. материалов IX Международной научно-практической интернет-конференции, Орел, 2011 г. – С. 167–169.

4. Хорошун, Г.В. Применение водоохлаждаемых электродов при выплавке стали в ДСП / Г.В. Хорошун, М.А. Платонов // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении : сб. докл. IX Всеросс. науч.-практ. конф. для студентов и учащейся молодежи, Томск, 2018 г. – Томск : Томский политехнический университет, 2018. – С. 40–42.

5. Терехов В.М. Системы управления электроприводов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. – 2-е изд., стер. – Москва : Издательский центр «Академия», 2006. – 304 с.

УДК 681.518.5

Швец Александр Николаевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shvets Alexander Nikolaevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Alexey Valerievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Electronics and Innovative Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВОЙ ГОРЕЛКОЙ КОТЛОАГРЕГАТА ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR A THERMAL POWER PLANT BOILER UNIT GAS BURNER**

Аннотация. Автоматизированная система управления котлоагрегатом (АСУ КА) создается с целью улучшения ключевых показателей работы оборудования и повышения безопасности эксплуатации. Основные цели включают управление агрегатом в различных режимах работы, защиту от аварийных ситуаций, а также предоставление персоналу актуальной и полной информации для анализа и оптимизации процессов. Ожидается, что внедрение АСУ КА приведет к повышению эксплуатационной готовности агрегата, увеличению экономичности его работы за счет экономии топлива и сокращения затрат на обслуживание, улучшению надежности и долговечности оборудования, а также сокращению ошибок оперативного персонала. Продемонстрирована функциональная схема разрабатываемой системы, отвечающей требованиям экономичности, безопасности и включающей функцию удаленного контроля.

Abstract. The automated boiler control system (ACS) is being created in order to improve the key performance indicators of the equipment and increase operational safety. The main objectives include controlling the unit in various operating modes, protecting against emergencies, as well as providing staff with up-to-date and complete information for analyzing and optimizing processes. It is expected that the introduction of the automated control system will lead to an increase in the operational readiness of the unit, increase the efficiency of its operation by saving fuel and reducing maintenance costs, improve the reliability and durability of equipment, as well as reduce operational errors. A functional diagram of the system being developed that meets the requirements of efficiency, safety and includes a remote control function is demonstrated.

Ключевые слова: система управления, котлоагрегат, газовая горелка, электрическая схема, модернизация.

Keywords: control system, boiler unit, gas burner, electrical circuit, modernization

### **Введение**

Угольные электростанции являются одними из самых крупных источников загрязнения окружающей среды. Они выбрасывают в атмосферу огромное количество

углекислого газа, сажи, оксидов азота и других вредных веществ. Поэтому многие страны мира активно работают над переводом своих угольных электростанций на газ. Газ является более чистым источником энергии, чем уголь. При его сжигании выделяется меньше вредных веществ, что делает его более экологичным. Кроме того, газ стоит дешевле, чем уголь, что позволяет снизить затраты на производство электроэнергии.

В работе ставится задача разработки системы управления существующей горелкой котлоагрегата для обеспечения возможности её работы с газом при минимальных затратах на модернизацию. Разработанная система управления предназначена для комплексного управления котлоагрегатом в различных режимах работы. Разработанная система управления решает следующие задачи: управление котлоагрегатом в широком спектре режимов работы, включая нормальные, растопочные, пиковые, полупиковые, предаварийные и аварийные условия; защита оборудования от возможных аварийных ситуаций путём остановки или снижения нагрузки; обеспечение персонала необходимой информацией для анализа, оптимизации и планирования работы оборудования, включая диагностику и прогнозирование состояния агрегатов.

### **Существующие системы управления горелками**

Комплектные блоки управления в промышленности существуют, аналогом является блок на базе модульных устройств КПС 19-06 (рисунок 1), изготовитель – Общество с ограниченной ответственностью «Специализированное конструкторское бюро программируемых средств и систем» (ООО «СКБ ПСИС»). Срок службы блоков в соответствии с ТУ 16-92 ИГФР 468332.017ТУ – 6 лет. Блоки с истекшим сроком службы в ремонт не принимаются.

Контроллер выполнен в блочно-унифицированных конструктивах БУК-Б. В зависимости от параметров объекта управления контроллер может включать в себя одну или несколько кассет функциональных блоков. Блоки, устанавливаемые в кассету, выполнены подвижными. Нижними разъемами, расположенными сзади, блоки подключаются к внутрикассетной магистрали связи, выполненной в виде объединяющей платы.

В настоящее время блоки контроллера сняты с серийного производства, особо востребованные блоки для замены и ЗИП изготавливаются мелкими партиями, вследствие чего имеют высокую цену.

### **Функциональная схема предлагаемого решения**

В качестве системы управления газовой горелкой предлагается использовать устройство, функциональная схема которого представлена на рисунке 2.

Сигналы с датчиков давления (ВР) и положения заслонок (ВА) в виде унифицированного токового сигнала 4-20 мА [1] поступают в преобразователи токового сигнала в напряжение (U1, U5) с входными сопротивлениями 100 Ом. Преобразованные сигналы поступают на фильтры нижних частот (Z1, Z2) для исключения производственных помех из полезного сигнала. Выходные сигналы фильтров поступают на аналого-цифровые преобразователи (U2, U6), управляемые сигналами с порта PE микроконтроллера DD1, где происходит преобразование аналогового сигнала в цифровой. Цифровые сигналы поступают на входные порты микроконтроллера DD1 (P0, P1) [2].

Концевые выключатели (SB) передают дискретные сигналы о крайних положениях клапанов и заслонок на входной порт микроконтроллера DD1 (P2) через стабилизатор (DA1) для ограничения уровня сигнала.

На аналоговый вход микроконтроллера P3 поступает сигнал о напряжении на аккумуляторной батарее, которая используется для резервного питания системы управления. Для согласования по уровню сигналов используется аттенюатор A1.

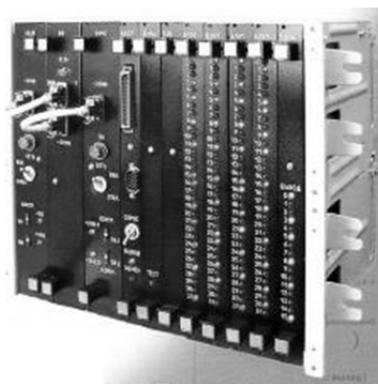


Рисунок 1 – Контроллер, программируемый КПС19-06

Для управления микроконтроллером предусмотрены джойстик (SB2) и дисплей HG1 с интерфейсом подключения I<sup>2</sup>C.

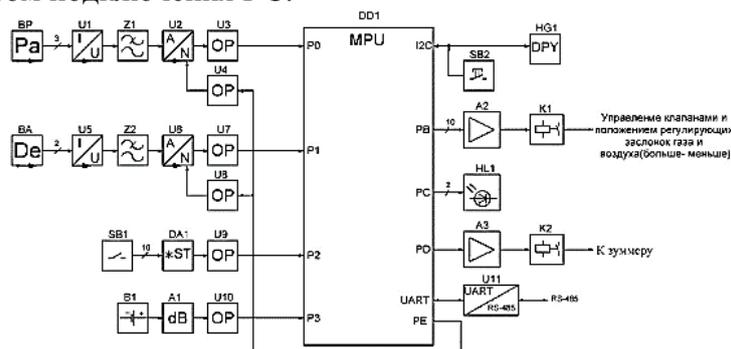


Рисунок 2 – Функциональная схема устройства

Сигналы управления клапанами и регулирования положения заслонок воздуха и газа формируются на выходном порту PB. Сигналы усиливаются по току с помощью усилителя напряжения A2 и поступают на соответствующие реле управления K1. На выходе PC микроконтроллера формируются сигналы сигнализации, которые отображаются с помощью светодиодов HL1. Выход PD предназначен для формирования звуковой сигнализации через усилитель A3 и реле K2. Данные, полученные микроконтроллером, через порт UART передаются в преобразователь интерфейсов U11 с которого информация по интерфейсу RS485 передаётся на автоматизированное рабочее место оператора для хранения на сервере, отображения и управления технологическими процессами.

В системе предусмотрена гальваническая развязка микроконтроллера от датчиков с помощью блоков оптической развязки (U3, U4, U7, U8, U9, U10).

#### Заключение

В настоящей работе решена задача разработки системы управления газовой горелки котлоагрегата теплоэлектростанции. Полученная система обеспечивает улучшение ряда ключевых показателей работы котлоагрегатов, в том числе: экономичности работы (экономия топлива и снижение затрат на собственные нужды); надёжности и долговечности оборудования; минимизации ошибок оперативного персонала. Система управления обеспечивает: удаленное управление; резервирование питания; гальваническую развязку между измерительными модулями и основным модулем; отсутствие необходимости использования дополнительного оборудования; возможность управления и контроля работы с собственного пульта управления; защиту исполнительных механизмов от работы за пределами рабочего диапазона.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кологривов В.А. Основы автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств. Часть 2 : учебное пособие / Кологривов В.А. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 132 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/13956.html> (дата обращения: 19.11.2024). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.
2. Водовозов, А. М. Микроконтроллеры для систем автоматики : учебное пособие / А. М. Водовозов. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. - 168 с. - ISBN 978-5-9729-1071-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1903136> (дата обращения: 19.11.2024). – Режим доступа: по подписке.

## СЕКЦИЯ. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 372.853

Альхименко Игорь Николаевич, магистрант кафедры «Прикладная математика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Alkhimenko Igor Nikolaevich, undergraduate student of the Department of Applied Mathematics, Komsomol-on-Amur State University

Гулина Наталья Андреевна, ассистент кафедры «Проектирование, управление и разработка информационных систем», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Gulina Natalya Andreevna, assistant at the Department of Design, Management and Development of Information Systems, Komsomolsk-na-Amure State University

Трещев Иван Андреевич, кандидат технических наук, декан факультета компьютерных технологий, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Treshev Ivan Andreevich, Candidate of Engineering Sciences, Dean of the Faculty of Computer Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University

### О ПОДХОДЕ К ИЗМЕРЕНИЮ НАВОДОК НА ЦЕПИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ

#### ABOUT THE APPROACH TO MEASUREMENT OF INTERFERENCE ON POWER SUPPLY AND GROUNDING CIRCUITS

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию технического канала утечки информации – наводок на линии отходящие от средств вычислительной техники и выходящих за пределы охраняемого периметра предприятия. Исследование проведено для различных мониторов входящих в состав ПЭВМ, как наиболее сильных генераторов побочного электромагнитного излучения, не связанного непосредственно с обработкой информации.

Abstract. This work is devoted to the study of a technical channel for information leakage - interference on lines extending from computer equipment and extending beyond the guarded perimeter of the enterprise. The study was carried out for various monitors included in PCs, as the most powerful generators of side electromagnetic radiation not directly related to information processing.

Ключевые слова: наводки, цепи электропитания, заземление, ПЭВМ

Keywords: interference, power supply circuits, grounding, PC

#### Введение

Одним из возможных технических каналов утечки информации при работе средств вычислительной техники (СВТ) являются наводки информативных сигналов на всевозможные отходящие линии [1], при этом перехват возможно вести с использованием активных или пассивных средств [2].

Будем проводить измерения по длине кабеля с шагом 15 сантиметров, на расстоянии 15, 30 и 45 сантиметров от блока розеток. Будем использовать ПЭВМ видео дисплейным устройством. Дополнительно будем подключать генератор сигналов к отходящей линии индуктивным методом [3] с целью создать в линии легко различимый и достаточный для проведения измерений несущий сигнал. Стенд для проведения исследований содержит - селективный микровольтметр SMV-8,5, генератор АК ИП 3410/3, генератор Г4-107, генератор АК ИП 3410/5, пробник напряжения СРФ-1, магнитный индуктор ИМ-1, генератор шума ЛГШ-503.

В ходе работы используются различные генераторы сигналов специального вида для формирования несущих на тех же частотах что и гармоники информативного сигнала[4].

### Основная часть

Произведем измерение напряженности поля,  $U_i$  на частотах  $f_1, f_2, \dots, f_n$  гармоник информативного сигнала в диапазоне 30-300 МГц (все первые гармоники информативного сигнала для каждого из типов мониторов расположены выше 30 МГц).

Для расчета сигнала, используя смесь компонент сигнала и шума и отдельно измеренного шума понадобится соотношение:

$$U_i^c = \sqrt{U_{(c+ш)}^2 - U_{шi}^2}$$

При расчете сигнала учтем калибровочные коэффициенты в соответствии с сертификатами о калибровке СРФ-1. Проведем исследование наведённых сигналов на сети электропитания и заземления с использованием и без генераторов сигнала и магнитного индуктора. Измерения проводились в два этапа, с использованием ЛГШ-503 и без него. Результаты расчетов на основе измерений для CRT мониторе с применением генераторов АКИП 3420/3 и Г4-107 представлены на рисунке 1.

экран CRT, без защиты, 25см, АКИП 3420/3 + Г4-107								экран CRT, без защиты, 30см, АКИП 3420/3 + Г4-107								экран CRT, без защиты, 45см, АКИП 3420/3 + Г4-107							
f	U <sub>ш0</sub>	U <sub>ш1</sub>	U <sub>ш2</sub>	U <sub>ш3</sub>	U <sub>ш4</sub>	U <sub>ш5</sub>	K	f	U <sub>ш0</sub>	U <sub>ш1</sub>	U <sub>ш2</sub>	U <sub>ш3</sub>	U <sub>ш4</sub>	U <sub>ш5</sub>	K	f	U <sub>ш0</sub>	U <sub>ш1</sub>	U <sub>ш2</sub>	U <sub>ш3</sub>	U <sub>ш4</sub>	U <sub>ш5</sub>	K
32,5	63	67	2736,904	79	79	0	3,95	32,5	53	67	2736,904	79	79	0	3,95	32,5	63	67	2736,904	79	79	0	3,95
85	58	62	1887,561	59	64	2394,413	4,75	65	58	62	1887,561	59	63	2394,413	4,75	65	58	62	1887,561	59	62	1322,412	4,75
97	49	54	802,5158	48	52	171,996	5,74	57	49	54	802,5158	48	50	171,996	5,74	97	49	54	802,5158	48	50	171,996	5,74
130	49	50	311,9517	54	55	334,7171	6,75	130	49	50	311,9517	54	55	334,7171	6,75	130	49	50	311,9517	53	54	494,4100	6,75
163	49	50	362,7332	60	60	0	8,06	151	49	50	362,7332	60	60	0	8,06	163	49	50	362,7332	60	60	0	8,06
192	23	24	19,16847	69	69	0	8,52	192	23	24	19,16847	66	67	2707,628	8,52	192	23	24	19,16847	66	66	0	8,52
225	24	25	24,42519	85	85	0	9,625	225	24	25	24,42519	85	85	0	9,625	225	24	25	24,42519	81	85	0	9,625
262	21	21	27,67189	56	56	0	10,17	252	21	21	27,67189	60	60	0	12,17	262	21	21	27,67189	55	55	0	10,17
292	20	31	141,8517	52	52	0	10,26	292	20	31	141,8517	57	57	0	12,26	292	20	31	141,8517	50	50	0	10,26

экран CRT, с защитой, 15см, АКИП 3420/3 + Г4-107								экран CRT, с защитой, 30см, АКИП 3420/3 + Г4-107								экран CRT, с защитой, 45см, АКИП 3420/3 + Г4-107							
f	U <sub>ш0</sub>	U <sub>ш1</sub>	U <sub>ш2</sub>	U <sub>ш3</sub>	U <sub>ш4</sub>	U <sub>ш5</sub>	K	f	U <sub>ш0</sub>	U <sub>ш1</sub>	U <sub>ш2</sub>	U <sub>ш3</sub>	U <sub>ш4</sub>	U <sub>ш5</sub>	K	f	U <sub>ш0</sub>	U <sub>ш1</sub>	U <sub>ш2</sub>	U <sub>ш3</sub>	U <sub>ш4</sub>	U <sub>ш5</sub>	K
32,5	93	93	0	92	92	0	3,95	32,5	93	93	0	92	92	0	3,95	32,5	93	93	0	92	92	0	3,95
85	74	74	0	76	79	0	4,75	65	74	74	0	76	76	0	4,75	65	74	74	0	76	76	0	4,75
97	74	74	0	72	72	0	5,74	57	74	74	0	72	72	0	5,74	97	74	74	0	72	72	0	5,74
130	79	79	0	89	69	0	6,75	130	79	79	0	89	69	0	6,75	130	79	79	0	68	69	0	6,75
163	68	68	0	70	72	0	8,06	151	68	68	0	70	70	0	8,06	163	68	68	0	70	70	0	8,06
192	68	68	0	70	72	0	8,52	192	68	68	0	70	70	0	8,52	192	68	68	0	70	70	0	8,52
225	79	79	0	71	71	0	9,625	225	79	79	0	71	71	0	9,625	225	79	79	0	71	71	0	9,625
262	79	79	0	71	71	0	10,17	252	79	79	0	71	71	0	12,17	262	79	79	0	71	71	0	10,17
292	60	60	0	66	66	0	10,26	292	60	60	0	66	66	0	12,26	292	60	60	0	66	66	0	10,26

Рисунок 1 – Измерения с электронно-лучевой трубкой и АКИП 3420/3 и Г4-107  
 Результаты расчетов на основе измерений на CRT мониторе с применением генератора АКИП 3420/5 представлены на рисунке 2.

экран CRT, без защиты, 15см, АКИП 3420/5								экран CRT, без защиты, 30см, АКИП 3420/5								экран CRT, без защиты, 45см, АКИП 3420/5							
f	U <sub>ш0</sub>	U <sub>ш1</sub>	U <sub>ш2</sub>	U <sub>ш3</sub>	U <sub>ш4</sub>	U <sub>ш5</sub>	K	f	U <sub>ш0</sub>	U <sub>ш1</sub>	U <sub>ш2</sub>	U <sub>ш3</sub>	U <sub>ш4</sub>	U <sub>ш5</sub>	K	f	U <sub>ш0</sub>	U <sub>ш1</sub>	U <sub>ш2</sub>	U <sub>ш3</sub>	U <sub>ш4</sub>	U <sub>ш5</sub>	K
32,5	49	53	546,084	82	82	0	3,95	32,5	49	53	546,084	80	80	0	3,95	32,5	49	53	546,084	78	78	0	3,95
65	45	49	377,798	52	54	526,064	4,75	65	45	49	377,798	52	53	350,016	4,75	65	45	49	377,798	52	53	350,016	4,75
97	32	33	39,2272	37	41	168,562	5,74	97	32	33	39,2272	37	40	136,763	5,74	97	32	33	39,2272	37	40	136,763	5,74
130	29	31	46,8855	57	58	783,587	6,75	130	29	31	46,8855	49	51	468,855	6,75	130	29	31	46,8855	51	52	392,724	6,75
163	39	41	172,4	35	40	209,149	8,06	163	39	41	172,4	35	39	174,888	8,06	163	39	41	172,4	35	39	174,888	8,06
192	28	32	82,3682	51	51	0	8,52	192	28	32	82,3682	54	54	0	8,52	192	28	32	82,3682	54	54	0	8,52
225	25	25	0	53	53	0	9,625	225	25	25	0	53	53	0	9,625	225	25	25	0	50	50	0	9,625
262	27	31	88,7686	49	49	0	10,17	262	27	31	88,7686	48	48	0	10,17	262	27	31	88,7686	46	46	0	10,17
292	30	35	151,515	48	48	0	10,26	292	30	35	151,515	48	48	0	10,26	292	30	35	151,515	43	43	0	10,26

экран CRT, с защитой, 15см, АКИП 3420/5								экран CRT, с защитой, 30см, АКИП 3420/5								экран CRT, с защитой, 45см, АКИП 3420/5							
f	U <sub>ш0</sub>	U <sub>ш1</sub>	U <sub>ш2</sub>	U <sub>ш3</sub>	U <sub>ш4</sub>	U <sub>ш5</sub>	K	f	U <sub>ш0</sub>	U <sub>ш1</sub>	U <sub>ш2</sub>	U <sub>ш3</sub>	U <sub>ш4</sub>	U <sub>ш5</sub>	K	f	U <sub>ш0</sub>	U <sub>ш1</sub>	U <sub>ш2</sub>	U <sub>ш3</sub>	U <sub>ш4</sub>	U <sub>ш5</sub>	K
32,5	101	101	0	101	101	0	3,95	32,5	101	101	0	101	101	0	3,95	32,5	101	101	0	101	101	0	3,95
65	85	85	0	85	85	0	4,75	65	85	85	0	85	85	0	4,75	65	85	85	0	85	85	0	4,75
97	65	65	0	71	71	0	5,74	97	65	65	0	71	71	0	5,74	97	65	65	0	71	71	0	5,74
130	70	70	0	72	72	0	6,75	130	70	70	0	72	72	0	6,75	130	70	70	0	72	72	0	6,75
163	68	68	0	69	69	0	8,06	163	68	68	0	69	69	0	8,06	163	68	68	0	69	69	0	8,06
192	70	70	0	72	72	0	8,52	192	70	70	0	72	72	0	8,52	192	70	70	0	72	72	0	8,52
225	77	77	0	73	73	0	9,625	225	77	77	0	73	73	0	9,625	225	77	77	0	73	73	0	9,625
262	75	75	0	74	74	0	10,17	262	75	75	0	74	74	0	10,17	262	75	75	0	74	74	0	10,17
292	73	73	0	71	71	0	10,26	292	73	73	0	71	71	0	10,26	292	73	73	0	71	71	0	10,26

Рисунок 2 – Измерения с электронно-лучевой трубкой и АКИП 3420/5  
 Результаты расчетов на основе измерений на LCD мониторе с применением генераторов АКИП 3420/3 и Г4-107 представлены на рисунке 3.

экран LCD, без защиты, 15см, АКПП 3420/3 + Г4-107							экран LCD, без защиты, 30см, АКПП 3420/3 + Г4-107							экран LCD, без защиты, 45см, АКПП 3420/3 + Г4-107									
f	U <sub>ср</sub>	K	f	U <sub>ср</sub>	K	f	U <sub>ср</sub>	K															
32,5	87	90	290,154	75	71	3192,18	3,95	32,5	87	90	290,154	75	71	3192,18	3,95	32,5	87	90	290,154	75	71	3192,18	3,95
65	41	41	0	53	36	264,41	4,75	65	41	41	0	53	36	264,41	4,75	65	41	41	0	53	36	264,41	4,75
97	31	31	11,1161	51	41	11,1161	5,35	97	31	31	11,1161	41	41	11,1161	5,35	97	31	31	11,1161	41	41	11,1161	5,35
130	29	27	32,8645	43	40	278,637	6,75	130	29	27	32,8645	47	46	347,732	6,75	130	29	27	32,8645	55	56	622,435	6,75
163	29	30	82,2715	63	30	0	8,275	163	29	30	82,2715	63	30	0	8,275	163	29	30	82,2715	63	30	0	8,275
192	20	20	0	54	40	0	8,52	192	20	20	0	54	40	0	8,52	192	20	20	0	54	40	0	8,52
215	19	19	0	50	50	0	9,275	215	19	19	0	50	50	0	9,275	215	19	19	0	50	50	0	9,275
262	22	22	0	51	51	0	10,17	262	22	22	0	51	51	0	10,17	262	22	22	0	51	51	0	10,17
292	20	20	0	45	45	0	10,26	292	20	20	0	45	45	0	10,26	292	20	20	0	45	45	0	10,26

Рисунок 3 – Результат для жидкокристаллического монитора и генераторов АКПП 3420/3 и Г4-107

Результаты расчетов на основе измерений на LCD мониторе с применением генератора АКПП 3420/5 представлены на рисунке 4.

экран LCD, без защиты, 15см, АКПП 3420/5							экран LCD, без защиты, 30см, АКПП 3420/5							экран LCD, без защиты, 45см, АКПП 3420/5									
f	U <sub>ср</sub>	K	f	U <sub>ср</sub>	K	f	U <sub>ср</sub>	K															
32,5	49	59	1332,36	72	73	3192,18	3,95	32,5	49	59	1332,36	72	73	3192,18	3,95	32,5	49	59	1332,36	70	72	3810,99	3,95
65	40	40	0	42	43	110,685	4,75	65	40	40	0	41	42	98,6478	4,75	65	40	40	0	40	41	87,9199	4,75
97	30	36	105,727	26	28	29,5487	5,74	97	30	36	105,727	26	27	19,6602	5,74	97	30	36	105,727	26	27	19,6602	5,74
130	30	31	35,0016	56	56	0	6,75	130	30	31	35,0016	55	55	0	6,75	130	30	31	35,0016	55	55	0	6,75
163	29	32	71,1162	40	40	0	8,06	163	29	32	71,1162	40	40	0	8,06	163	29	32	71,1162	40	40	0	8,06
192	20	20	0	54	54	0	8,52	192	20	20	0	41	41	0	8,52	192	20	20	0	45	45	0	8,52
215	19	19	0	50	50	0	9,275	215	19	19	0	45	45	0	9,275	215	19	19	0	44	44	0	9,275
262	22	22	0	51	51	0	10,17	262	22	22	0	50	50	0	10,17	262	22	22	0	40	40	0	10,17
292	20	20	0	45	45	0	10,26	292	20	20	0	40	40	0	10,26	292	20	20	0	34	34	0	10,26

Рисунок 4 – Результат для жидкокристаллического монитора и генератора АКПП 3420/5

Построим зависимости в форме амплитудно-частотных характеристик (рисунки 5-6).

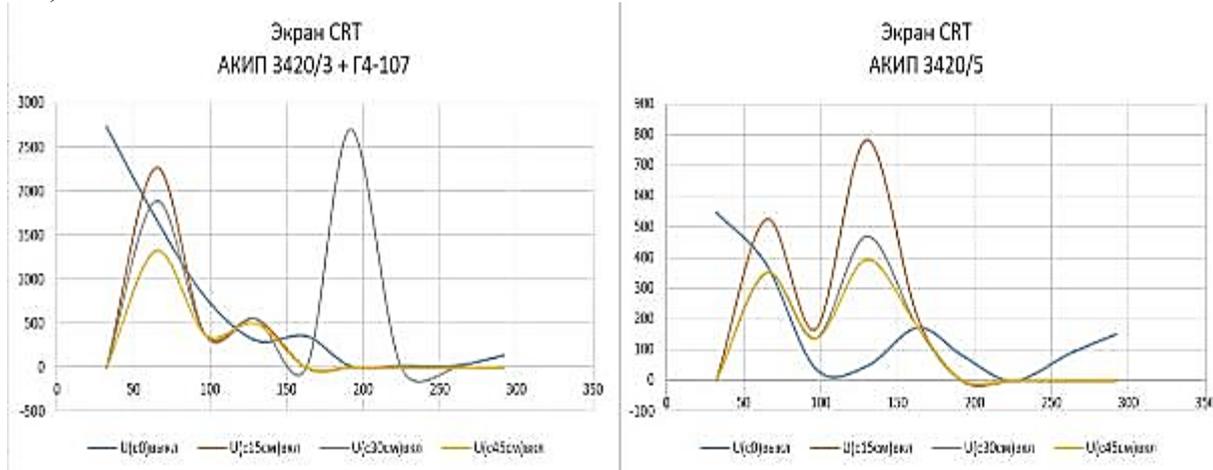


Рисунок 5 – CRT монитор (с различными типами генераторов)

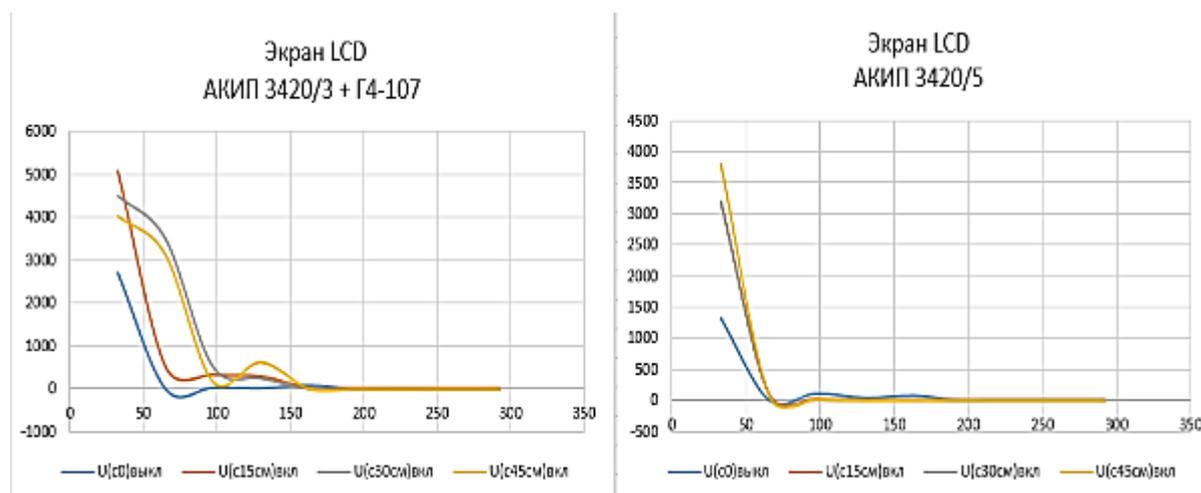


Рисунок 6 – LCD монитор (с различными типами генераторов)

Если проводить измерения с включенным ЛГШ-503, то различить сигнал не представляется возможным.

### Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что, во-первых, с увеличением расстояния напряженность падает, а во-вторых использование генераторов шума позволяет существенно затруднить или сделать невозможным выделение заданного сигнала. Даже для случая использования отдельного генератора АКПП или Г4 с индуктивным подключением к сетям, на фоне шумов информативные сигналы различить не удастся и в случае достаточной протяженности линии нет необходимости в использовании дополнительных активных механизмов защиты.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хорев, А. А. Защита цепей электропитания средств вычислительной техники от утечки информации по техническим каналам / А. А. Хорев // Защита информации. Ин-сайд. – 2008. – № 1(19). – С. 42-47. – EDN TOAQWX.
2. Иванов, В. П. Оценка возможности маскировки информативных наводок в отходящих цепях и инженерных коммуникациях с помощью генераторов шума / В. П. Иванов // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2009. – № 13. – С. 122-125. – EDN MUXXON.
3. Митряев, Э. И. Анализ функциональной взаимосвязи принципов технической реализации сетевых каналов связи и физического ослабления информативного сигнала в тракте его распространения при проектировании информационных систем и сетей / Э. И. Митряев, П. А. Филатов // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2021. – № 2. – С. 85-90. – DOI 10.25586/RNU.V9187.21.02.P.085. – EDN KGMYSА.Results of Cyclic-Strength Investigation of Developed Cutting Ceramic / A. I. Pronin, V. V. Myl'nikov, S. V. Veselov, D. A. Val'ko // Glass and Ceramics. – 2022. – Vol. 79. – No 5-6. – P. 222-224. – DOI 10.1007/s10717-022-00488-z. – EDN TESDKU.
4. Волостных, В. А. Защита информации в системах передачи, хранения и обработки информации / В. А. Волостных, Р. А. Рогов, М. В. Митрофанов // Региональная информатика и информационная безопасность, Санкт-Петербург, 01–03 ноября 2017 года. Том Выпуск 4. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления, 2017. – С. 71-72. – EDN XTOMXR.

УДК 004.032.26

Бивоин Алексей Олегович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Bivoin Aleksey Olegovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Ткачева Юлия Ильинична, канд. техн. наук, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки» ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Tkacheva Julia Ilyinichna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ PHYSICAL AND MATHEMATICAL FOUNDATIONS FOR MACHINE LEARNING**

Аннотация. В статье приведены результаты формирования набора данных, работы и обучения нейросети, генерирующей вокал по заданному тексту. При этом учитывалось и определялась высота тона и частота звуковой волны. Как известно, чем ниже частота, тем ниже звук. Тембр звука формировался исходя из анализированных и синтезированных спектральных характеристик. Текст преобразовывался в вокал с помощью мел-спектрограмм, которые преобразовывались в аудиосигнал с помощью вокодера. С помощью такого подхода синтезирован вокал, соответствующий заданному тексту с использованием набора фонограмм.

Abstract. The article presents the results of simulating the operation of a neural network that generates vocals from a given text. The pitch (tone) of the sound was considered, and the frequency of the sound wave was determined. The lower the frequency, the lower the sound. The timbre of the sound was formed based on the analyzed and synthesized spectral characteristics. The text was transformed into vocals using mel-spectrograms, which were then converted into an audio signal using a vocoder. Using this approach, vocals corresponding to the given text were synthesized using a set of phonogram samples.

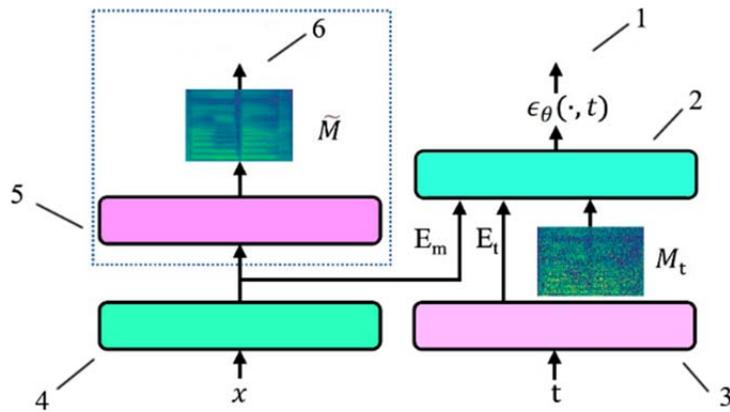
Ключевые слова: звук, частота, спектрограмма, нейросеть.

Key words: sound, frequency, spectrogram, neural network.

Одной из ключевых и быстро развиваемых технологий в области искусственного интеллекта считается синтез вокала на основе заданного текста. Существует множество решений, позволяющих сделать это, однако, большое количество из них не отличаются высоким качеством и удобством развертывания. Многие вообще не позволяют произвести синтез русскоязычного вокала. Центральной проблемой для реализации данного решения является отсутствие открытых и размеченных источников данных, помогающих качественно обучить модель. Качественно составленные и размеченные наборы данных, и грамотно обученная модель позволят получить наилучший результат по синтезу вокала. Формирование набора данных и обучение модели представляет собой целесообразный процесс.

Для обучения модели использовались аудиофонограммы, размеченные текстовыми метками. Источники данных включали профессиональные записи вокала и синтетические примеры. Каждый аудиотрек был предварительно обработан, чтобы учесть параметры высоты тона и частоты звуковой волны. Разметка включала выравнивание текста с аудиофрагментами, что обеспечивало точность преобразования текста в вокал. Особое внимание уделялось формированию данных на русском языке, что позволило решить проблему недостатка размеченных открытых источников.

Модель синтеза вокала была реализована с помощью средств Python и его библиотек. Схема обучения модели приведена на рисунке 1.

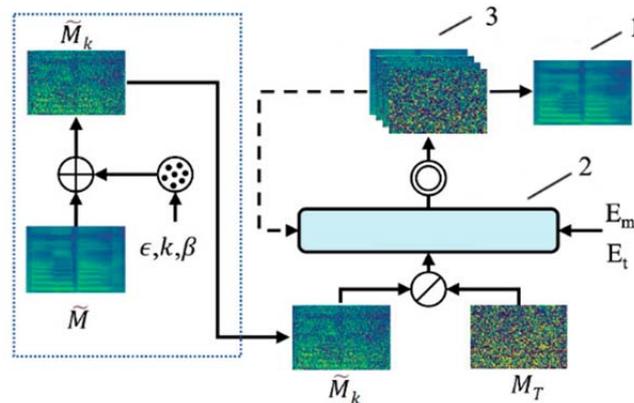


1 – L1 loss между предсказ. и истин. шумом; 2 – денойзер;  
 3 – вложение с t-распределением; 4 – кодировщик; 5 – дополнительный декодер;  
 6 – L1 loss между предсказ. и истин. мел-спектрограмми

Рисунок 1 – Схема обучения модели

Вход в модель – фонограмма с метками текста. Входные данные проходят через энкодер, производящий извлечение из фонограмм скрытое представление  $E_m$  – вектор, содержащий структурированную информацию о музыкальной последовательности в соответствие с текстом.  $E_m$  передаётся вспомогательному декодеру, реконструирующей истинную мел-спектрограмму  $M$ . На этом этапе происходит обучение и минимизация ошибок между предсказанными  $\tilde{M}$  и истинным  $M$  мел-спектрограммами с помощью функции потерь L1 loss. Исходные мел-спектрограммы подвергаются деградации, из-за чего формируется  $M_t$  с гауссовским шумом. Это необходимо для имитации шагов диффузии  $t$ . Каждому  $t$  сопоставляется векторное представление  $E_t$ , кодирующее информацию о текущем уровне шума.  $M_t$  и  $E_t$  подаются на вход денойзеру, который обучается генерировать предсказание шума  $\epsilon_{\theta}(\cdot, t)$ , вследствие чего происходит минимизация L1 loss между  $\epsilon_{\theta}(\cdot, t)$  и  $\epsilon$ . В целом, вся архитектура, включающая энкодер, вспомогательный декодер, денойзер, обучается с использованием функции градиентного спуска, которая минимизирует ошибки на этапах реконструкции  $M$  и  $\epsilon$ , то есть происходит восстановление мел-спектрограммы из зашумленных версий с использованием текущего этапа диффузии  $t$  и  $E_m$ , а вспомогательный декодер производит улучшение качества реконструкции.

После успешного обучения модели, она готова к использованию. Схема её работы представлена на рисунке 2.



1 – выход; 2 – денойзер; 3 – цикл k/T

Рисунок 2 – Схема работы модели

Восстановление мел-спектрограммы начинается с полностью зашумленного состояния  $M_t$ . Итеративно, в  $k$  шагах, используется денойзер, принимающий текущую

зашумленную мел-спектрограмму  $M_k$ ,  $E_m$  и  $E_t$ , чтобы предсказать присутствующий шум  $\epsilon_k, \beta$  который затем вычитается из  $M_k$  для обновления состояния и приближения к финальной мел-спектрограмме. Этот процесс повторяется, постепенно уменьшая шум, пока не достигается финальное состояние  $M$ . Для ускорения на начальных этапах применяется поверхностная диффузия позволяющая переключиться на более простое зашумленное представление  $M_k$ , сохраняя при этом качество. После всех итераций модель выводит восстановленную мел-спектрограмму, которая преобразовывается в аудиосигнал через вокодер.

Синтезированный вокал успешно воспроизводит заданный текст, учитывая высоту тона и частоту звуковой волны. Тембр звука формируется исходя из спектральных характеристик, проанализированных в процессе обучения. Использование мел-спектрограмм и вокодера позволило добиться высокого качества синтеза вокала, что подтверждается результатами тестирования.

По результатам работы можно сделать вывод, что нейронная сеть, обученная на основе фонограмм, успешно научилась воспроизводить человеческий голос, учитывая мел-спектрограммы, которые отражают различные высоты тона и частоты звуковых волн. С точки зрения физики, чем ниже частота звуковой волны, тем ниже воспринимаемый звук. Однако громкость звука при одинаковой интенсивности волны может восприниматься различно в зависимости от частотных характеристик. Это подтверждается тем, что модель смогла не только воспроизвести звук с учётом этих физико-акустических особенностей, но и сохранить соответствие между текстом и мелодией. Использование подхода, включающего диффузионный процесс с добавлением шума и последующим восстановлением мел-спектрограмм, показало свою эффективность для синтеза вокала.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Марченко, О. В. Исследование временных рядов с применением нейронных сетей / О. В. Марченко // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2022. – № 7(63). – С. 77-85. – DOI 10.17084/20764359-2022-63-77. – EDN XOMOMQ.
2. Вейна, В. С. Применение нейронных сетей типа многослойный персептрон для решения задачи прогнозирования поведения функции прогиба балки под действием изменяющейся нагрузки / В. С. Вейна, А. В. Морковин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2021. – № 3(51). – С. 24-28. – DOI 10.17084/20764359-2021-51-24. – EDN DEOWKU.
3. Петрова, А. Н. Использование нейронных сетей для системы прогнозирования, использующей релевантный поиск в системах больших данных / А. Н. Петрова, Д. О. Фролов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2024. – № 1(73). – С. 96-99. – EDN QRMEKJ.
4. Петрова, А. Н. Разработка нейронных сетей для сквозного обучения моделей поиска информации / А. Н. Петрова, Д. О. Фролов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2024. – № 3(75). – С. 48-52. – EDN LWJSRD.

УДК 621.867

Боровик Никита Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Borovik Nikita Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Ткачева Юлия Ильинична, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Julia Ilyinichna Tkacheva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНВЕЙЕРА ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ "ОБРАЗ"** **DEVELOPMENT OF A PHYSICAL MODEL OF A CONVEYOR FOR THE DIS-TRIBUTION OF COMPONENTS BASED ON THE "IMAGE" SYSTEM**

Аннотация. В данной работе рассмотрена и исследована система "Образ", которая используется для определения вида и формы заготовки детали. Создано программное обеспечение на основе системы «Образ», которое позволяет распознавать предложенные детали. Составлен рабочий алгоритм программы. Разработана физическая модель конвейера по распределению деталей.

Abstract. In this work, the "Image" system, which is used to determine the type and shape of the work-piece, is considered and investigated. Software based on the "Image" system has been created, which allows you to recognize the proposed details. A working algorithm of the program has been compiled. A physical model of the conveyor for the distribution of parts has been developed.

Ключевые слова: система «Образ», алгоритм, программное обеспечение, модель.

Key words: the "Image" system, algorithm, software, model.

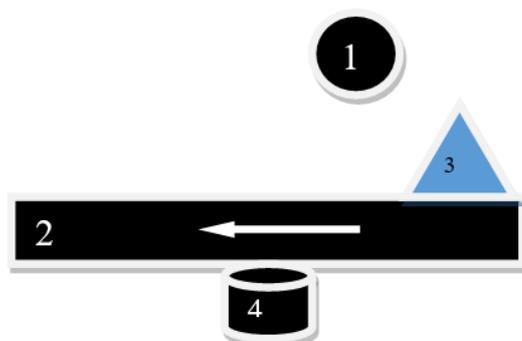
### **Введение**

В наше время одной из главных задач является автоматизация производства в целом и каждого конкретного производственного процесса в частности [1, 2, 3]. Вместе с тем, разрабатывается и уже эксплуатируется большое количество автоматизированных линий [5], систем управления и регулирования, роботов, дронов и прочих средств, призванных обеспечить требуемый уровень автоматизации определенного производственного процесса. Тяжелые, опасные, прецизионные виды работы могут быть заменены машинами, способными самостоятельно выполнять алгоритм, который был заранее описан человеком [4]. В данной работе рассмотрена система, которая может самостоятельно определять деталь, поставленную на конвейер, и определять, в какую сторону она отправится далее. Таким образом, подразумевается создание подвижного многонаправленного конвейера для распределения деталей на механическом производстве. Данная статья делает первые шаги в этом направлении, заключающиеся в построении структурной схемы и алгоритма работы основного элемента конвейера – камеры распознавания детали.

### **Основная часть**

Принцип работы разрабатываемого конвейера заключается в следующем (рисунок 1). На конвейерную ленту 2 ставится деталь 3. Двигаясь дальше по конвейеру она попадает в распределительную зону конвейера. Далее с помощью камеры 1, расположенной над конвейерной лентой, система определяет, что это за деталь и куда ее нужно отправить. Определив деталь, система дает указание сервоприводу 4, расположенному под конвейером. Место доставки для каждой детали предписано заранее. Сервопривод выбирает нужное направление и деталь двигается дальше. Сортировку производит подвижный конвейер, который может работать в 3 – 5 направлениях. После того как си-

система определила объект, конвейер ищет в базе данных место, куда нужно доставить данный объект. Узнав расположение точки, конвейер выбирает нужное направление. Сервопривод поворачивает конвейер и деталь двигается дальше. Поскольку местонахождение точки доставки может находиться далеко, возможно пересечение с другими системами определения детали. Таким образом система может самостоятельно определять детали и сортировать их. Для брака будет отведён отдельный путь. Для остальных же деталей будут выбраны направления для дальнейшего их распределения до точки доставки.



1 – камера распознавания детали; 2 – лента конвейера; 3 – деталь; 4 – сервопривод

Рисунок 1 – Структурная схема конвейера

Само передвижение объекта будет осуществляться за счёт движения конвейерной ленты, представленной на рисунке 2. За выбор дальнейшего направления движения детали отвечает сервопривод, представленный на рисунке 3. Таким образом, двигаясь далее по ленте объект прибывает в требуемый пункт назначения.

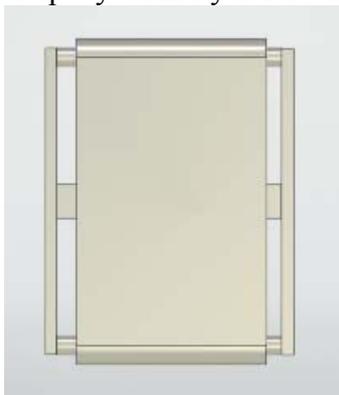


Рисунок 2 – Модель конвейерной ленты

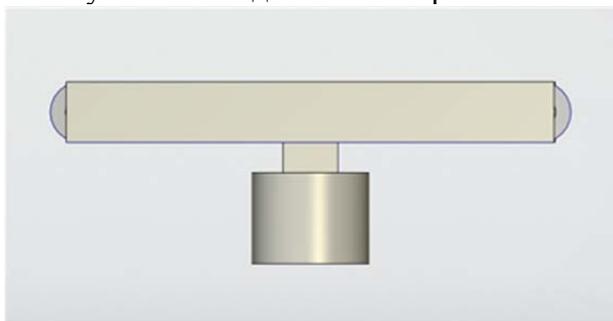


Рисунок 3 – Модель сервопривода

Рассмотрим алгоритм определения системой типа полученного объекта. По конвейеру едет квадратная деталь, которая, двигаясь по ленте дальше, проезжает под камерой, определяющей данный объект. Камера работает по принципу системы «Образ». Эта система способна определять фигуры и распознавать деформацию фигур. На основе системы «Образ» была написана программа, которая способна распознавать детали и считывать маркировки. Система работает по алгоритму, показанному на рисунке 4.

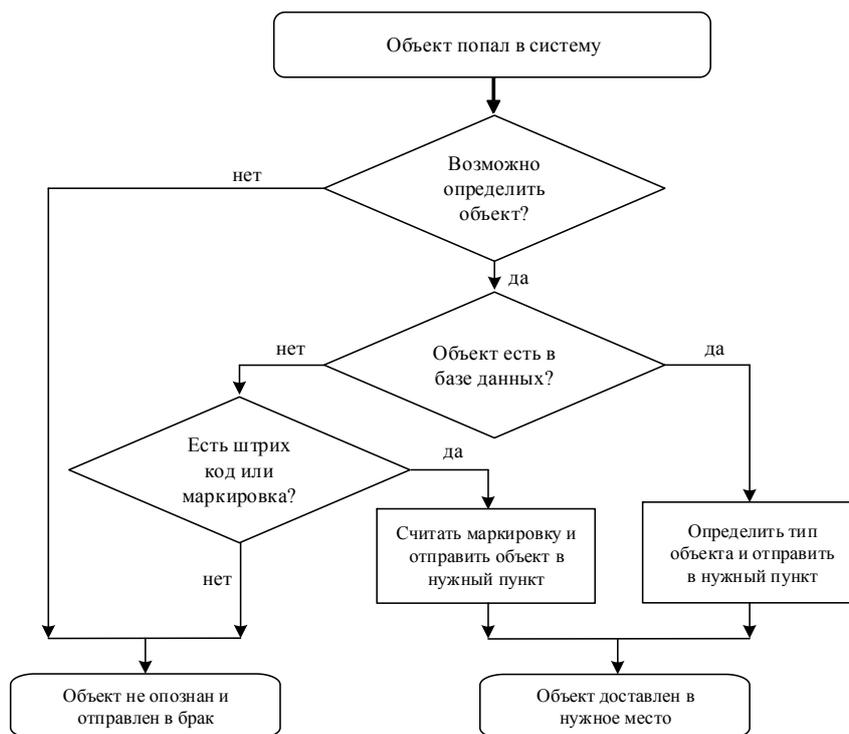


Рисунок 4 – Алгоритм определения типа объекта

### Заключение

В ходе данной работы была создана рабочая модель подвижного многонаправленного конвейера. Помимо этого, был сформирован алгоритм работы камеры распознавания, определяющей тип и распределяющей детали в брак или нужное место. Созданный алгоритм можно привести к практически любому коду. Следовательно, программа, реализующая данный алгоритм может быть записана не только в микроконтроллер, но и в другие микропроцессорные устройства, обеспечивающие протекание технологического процесса на любом производстве, использующим конвейерные линии.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Стельмашук, С. В. Согласованное управление однотипными объектами без учёта перекрёстных связей между сепаратными каналами / С.В. Стельмашук, В.А. Челухин. – Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2020. – № 7 (47). – С. 48-58.
2. Горькавый, М. А. Разработка архитектуры системы управления роботизированным производственным процессом на базе технологии цифрового двойника / М.А. Горькавый, В.П. Егорова, В.А. Соловьев, А.И. Горькавый, М.А. Мельниченко. – Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 1 (65). – С. 40-46.
3. Лепехина, С. Ю. Комплекс алгоритмов работы системы управления роботизированного комплекса трёхмерной печати / С.Ю. Лепехина, С.И. Сухоруков, Ю.А. Давыдов. – Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 1 (65). – С. 68-75.
4. Гусева, Ж. И. Тайм-менеджмент как инструмент управления персоналом / Ж.И. Гусева, М.В. Шинкорук. – Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2022. – № 6 (62). – С. 114-118.
5. Грачев, М. И. Автоматизация организации и её техническое оснащение / Грачев М.И. – Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2024. – № 5 (77). – С. 13-21.

УДК 628.97

Валитова Диана Марсовна, курсант, Воронежский институт ФСИН России

Valitova Diana Marsovna, cadet, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

Лубенцов Александр Витальевич, кандидат географических наук, доцент, Воронежский институт ФСИН России

Lubentsov Alexander Vitalievich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

## **ПРИМЕНЕНИЕ LED И EXIR-ТЕХНОЛОГИИ ПОДСВЕТКИ APPLICATION OF LED AND EXIR BACKLIGHT TECHNOLOGY**

Аннотация. Целью данной работы было сравнение двух видов подсветки, которые находят своё применение в видеокамерах. Сравнение их технических характеристик и показателей, а также выявление их преимуществ и недостатков.

Abstract. The purpose of this work was to compare two types of illumination that are used in video cameras. Comparison of their technical characteristics and indicators, as well as identification of their advantages and disadvantages.

Ключевые слова: видеокамеры, технология, подсветка, излучение, освещение.

Key words: video cameras, technology, illumination, radiation, lighting

### **Введение**

Актуальность: актуальность моей работы заключается в том, что на сегодняшний день выбор камеры видеонаблюдения является довольно распространенным, выбор лучшей версии видеокамеры, представленной на рынке, считается весьма значимым.

Цель работы: изучить механизмы подсветки, применяющиеся в видеокамерах.

Организация порядка как исполнения наказания, так и его отбывания в соответствии с приговором суда относится к уголовно-исполнительной системе Российской Федерации. Федеральная служба исполнения наказаний реализует права и обязанности осуждённый, обеспечивает личную безопасность не только осуждённых, но и персонала. Качественно выполнять возложенные на данную систему управления государством функции помогает использование современных технологий и разработок. Для более эффективного надзора за осуждёнными УИС использует камеры видеонаблюдения. Говоря о сегодняшнем дне, системы видеонаблюдения в пенитенциарной системе обладают не только возможностью записывать или просматривать материал, но и способностью создавать некий охранный комплекс, благодаря которому операторы видеонаблюдения легко заметят неправомерные действия человека, находящегося под стражей [1-5].

### **Основная часть**

Качественное изображение с видеокамеры – залог эффективной работы сотрудника УИС. Для этого в современных системах видеоконтроля применяются LED и EX-IR технологии подсветки.

Такими качествами как энергоэффективность, долговечность и яркость отличается LED-подсветка (она же светодиодная). Данная технология применяется в условиях низкой освещённости. С помощью передачи электрического тока через полупроводник светодиоды создают свет. Светодиодная подсветка отличается тем, что при генерации довольно яркого света не происходит выделения тепла. LED-подсветка видеокамер способна обеспечивать освещение предметов или объектов, расположенных на не большом радиусе. При этом использование данного вида подсветки не остаётся невидимым, светодиодная подсветка излучает яркий белый свет, излучаемый под широким углом и привлекающий взгляды окружающих. Однако прожекторы такого типа отличаются своей долговечностью и прочностью. В среднем такие лампы служат около 10

лет, при этом снижение работоспособности будет происходить заметно, т.к. лампы постепенно начнут тускнеть, свет будет менее ярким.



Рисунок 1– Изображение, полученное с видеокамеры с применением LED-подсветки

Большинство же камер оснащены инфракрасной подсветкой.

Системы видеонаблюдения с таким типом подсветки отличаются тем, что излучения нельзя увидеть человеческому глазу. Длина волны больше, чем у света видимого спектра. При этом EXIR-подсветка даёт возможность камере видеть даже в полной темноте и получать качественное и чёткое изображение по выходу. Основным преимуществом камер с инфракрасной подсветкой - это равномерное покрытие наблюдаемой области. Данная технология исключает наличие бликов и слепых зон. Камера видеонаблюдения способна эффективно регистрировать происходящие события, при этом она обеспечивает надёжный контроль за объектами в ночное время. Стоит отметить, что в отличие от LED-подсветки, камеры с инфракрасным излучением способны захватывать более широкое поле на большом расстоянии, примерно от 20 до 50 метров в зависимости от модели. Несмотря на преимущества, существенными недостатками камер видеонаблюдения с подобной системой подсветки являются прямая зависимость между качеством изображения и дальностью регистрации кадра, и мощностью диодов, при отсутствии разделительных элементов между излучателями и объективами изображения может быть засвечено, а также на изображении будут присутствовать блики, если диоды и объектив закрыты общим защитным стеклом.

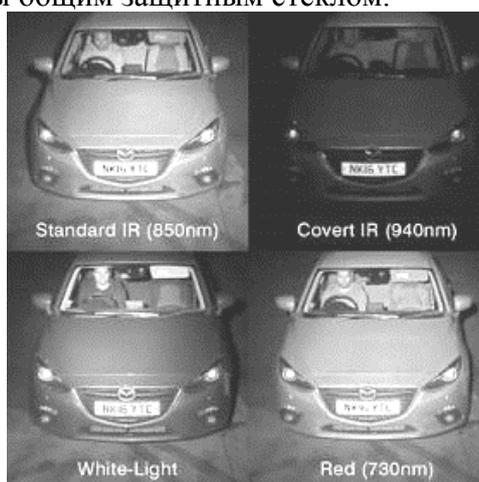


Рисунок 2 – Изображение, полученное с видеокамеры с применением EXIR-подсветки

LED и EXIR – это две разные технологии подсветки. Каждая из них обладает как преимуществами, так и недостатками. В соответствии с целями и задачами, которые стоят перед комплексами систем видеонаблюдения может быть выбрана подходящая технология освещения, обеспечивающая оптимальные результаты в различных условиях освещённости и времени суток.

## Заключение

В заключении стоит отметить, что обе технологии являются актуальными на сегодняшний день. Выбор определённой модели зависит от целей и задач потребителя.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Морфологическое строение оболочковой формы по выплавляемым моделям / В. И. Одинокоев, А. И. Евстигнеев, Э. А. Дмитриев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2022. – Т. 65. – № 10. – С. 740-747. – DOI: 10.17073/0368-0797-2022-10-740-747. – EDN SUGKZE.
2. Сизинцева, А. С. Лучшие системы для работы с данными / А. С. Сизинцева, В. В. Бажеряну // Географические исследования в контексте социально-экономического развития регионов : Материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), посвящённой 75-летию кандидата географических наук, доцента, почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации Ахмеда Лечаевича Устаева, Грозный, 01–02 июня 2022 года. – Грозный: Чеченский государственный университет имени Ахмата Абдулхамидовича Кадырова, 2022. – С. 587-589. – DOI: 10.36684/68-2022-1-587-589. – EDN CPDCFF.
3. Results of Cyclic-Strength Investigation of Developed Cutting Ceramic / A. I. Pronin, V. V. Myl'nikov, S. V. Veselov, D. A. Val'ko // Glass and Ceramics. – 2022. – Vol. 79. – No 5-6. – P. 222-224. – DOI 10.1007/s10717-022-00488-z. – EDN TESDKU.
4. Соловьев, В. А. Ледообразование на линиях электропередач. Причины возникновения. Методы удаления / В. А. Соловьев, С. И. Сухоруков, С. П. Черный. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2018. – 304 с. – ISBN 978-5-8044-1665-3. – EDN QAWSQO.
5. Патент на полезную модель № 203009 U1 Российская Федерация, МПК А23С 3/02, А01J 11/00. Термосмешивающая установка для сквашивания кисломолочных продуктов : № 2020125999 : заявл. 30.07.2020 : опубл. 18.03.2021 / К. К. Ким, С. Н. Иванов, И. М. Карпова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I". – EDN QCSNLB.

УДК 621.791.92

Весненко Сергей Дмитриевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Vesnenko Sergey Dmitrievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Старцев Егор Андреевич, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Startsev Egor Andreevich, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА-НАПЛАВКИ ПОЛУЧЕННОГО ПУТЕМ ВЫПОЛНЕНИЯ СВАРОЧНЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ STUDY OF PHYSICAL PROPERTIES OF SURFACE METAL OBTAINED BY PERFORMING WELDING WORKS USING EXPERIMENTAL MATERIALS**

Аннотация. В работе представлены результаты исследования микротвердости металла, полученного методом наплавки с использованием порошковой проволоки, содержащей переработанный электросталеплавильный шлак. Показано, что микротвердость варьируется по слоям и между образцами, что связано с особенностями структуры и состава наплавленного металла. Наибольшие значения микротвердости наблюдаются в верхних слоях наплавки, что может свидетельствовать о повышенной прочности и износостой-

кости покрытия. Полученные данные могут быть использованы для разработки износостойких покрытий с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Abstract. The paper presents the results of a study of the microhardness of a metal obtained by surfacing using a powder wire containing recycled electric steelmaking slag. It is shown that the microhardness varies between layers and between samples, which is due to the peculiarities of the structure and composition of the deposited metal. The highest values of microhardness are observed in the upper layers of the surfacing, which may indicate increased strength and wear resistance of the coating. The data obtained can be used to develop wear-resistant coatings with improved performance characteristics.

Ключевые слова: наплавка, порошковая проволока, микротвердость, электросталеплавильный шлак, износостойкость, покрытие.

Key words: surfacing, powder wire, microhardness, electric steelmaking slag, wear resistance, coating.

### **Введение**

Наплавка порошковой проволокой – это современный процесс, применяемый для восстановления, упрочнения или защиты металлических поверхностей. В основе метода лежит использование порошковой проволоки, которая содержит смесь металлических или неметаллических порошков, заполняющих металлическую оболочку. Порошковая проволока плавится под воздействием тепловой энергии, как правило, от электрической дуги, создавая слой наплавленного материала на поверхности основного металла [1-2].

Металлургическая промышленность России ежегодно производит значительные объемы отходов, среди которых шлаки занимают существенную долю. В 2019 году общий объем металлургических шлаков в стране оценивался примерно в 5,1–5,4 млн тонн. При выплавке стали в дуговых печах выход шлака составляет от 120 до 200 кг на тонну произведенной стали. С учетом ежегодного производства стали в России, образуется значительное количество шлаков, требующих эффективной переработки и утилизации. По оценкам, в стране накоплено свыше 250 млн тонн сталеплавильных шлаков, занимающих площадь около 1,3 тыс. га.

В данной работе описывается исследование микротвердости металла, полученного путем электродугового воздействия с применением экспериментальной порошковой проволоки [3] в которой в качестве шихты используются переработанные техногенные отходы [4-5].

### **Основная часть**

В таблице 1 указаны результаты измерений микротвердости для образцов металла и наплавленных валиков, созданных с использованием порошковой проволоки, содержащей переработанный электросталеплавильный шлак. Измерения проводились в пяти точках для каждого из валиков и основного металла, а результаты представлены по каждому образцу отдельно.

Таблица 1 – Результаты измерений средней микротвердости

№ образца	Основной металл	1 Валик	2 Валик	3 Валик	4 Валик	5 Валик
0	152	151	155	168	174	-
1	173	126	135	144	150	157
2	-	145	150	151	151	153
3	-	148	144	141	141	155
4	-	149	1355	144	136	145
5	-	216	249	220	259	223
6	-	162	161	164	155	148

Измерения показывают варьирование микротвердости как между разными валиками в пределах одного образца, так и между точками измерений в каждом валике. В некоторых образцах наблюдаются более высокие значения микротвердости в отдельных точках (например, в образце 5), что может быть связано с особенностями структуры материала или процессом наплавки.

На рисунке 1 представлены средние значения микротвердости по слоям для каждого образца.

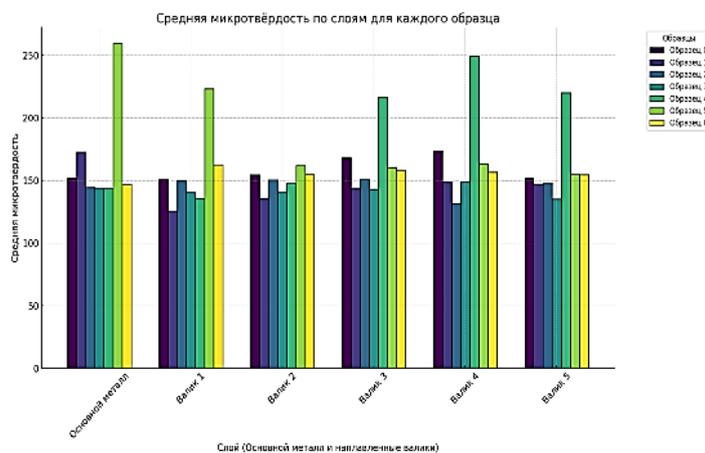


Рисунок 1 – Средние значения микротвердости

Основной металл демонстрирует стабильные значения микротвердости в пределах 152–173 единиц. Для оценки свойств наплавки стандартными значениями приняты значения основного металла. Среди всех образцов наплавки максимальное отклонение от этих значений наблюдается у образцов №1 и №5.

Образец №1 показывает равномерный рост микротвердости от 126 до 157 единиц по мере продвижения к верхним слоям. Это может свидетельствует о явлении накопления легирующих элементов в более плотной структуре верхних слоев. Тем не менее, микротвердость остаётся ниже, чем у других образцов, что связано с неравномерным распределении тепла при наплавке.

У образца №5, наблюдаются самые высокие значения микротвердости (216–259 единиц). Это указывает на значительное упрочнение материала в верхних слоях благодаря высокой концентрации легирующих элементов, таких как хром и вольфрам, твердость которых выше чем у основного металла.

Образец №4 отличается от остальных самыми низкими и стабильными значениями микротвердости (135–145 единиц). Это связано с равномерным, но менее интенсивным воздействием легирующих компонентов при неравномерном распределении тепла.

Образцы №3 и №6 занимают промежуточное положение. Для образца №3 значения микротвердости колеблются от 141 до 155 единиц, без ярко выраженной тенденции роста или падения. В образце №6 наблюдается умеренный рост от 148 до 164 единиц.

Эти различия подчёркивают влияние состава порошковой проволоки и параметров наплавочного процесса на конечные свойства покрытия.

В большинстве случаев значения микротвердости возрастают от основного металла к верхним слоям валиков, что свидетельствует об улучшении механических свойств в результате наплавки. Наибольшие значения микротвердости наблюдаются в верхних слоях образцов 5 и 6, что может говорить о высоком уровне уплотнения структурных изменений в этих слоях.

### Заключение.

В ходе исследования были получены данные о микротвердости металла, наплавленного с использованием порошковой проволоки, в состав шихты которой входит переработанный электросталеплавильный шлак. Установлено, что микротвердость варьи-

руется как между слоями, так и между образцами. Наибольшие значения микротвердости достигнуты в верхних слоях наплавленных валиков, что может быть связано с упрочнением структуры и высоким содержанием легирующих элементов в составе шлака. Результаты работы подтверждают эффективность использования порошковой проволоки с переработанным шлаком для создания прочных износостойких покрытий.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гусев А. И., Кузнецов С. М., Новиков В. К. Изучение структуры и свойств металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co при введении вольфрама и хрома // *Материаловедение и обработка материалов.* – 2019. – Т. 5, № 3. – С. 102–108.
2. Гусев А. И., Петров Д. А., Сидоров Е. И. Износостойкость металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V и Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V // *Известия Вузов. Черная металлургия.* – 2020. – Т. 7, № 4. – С. 134–140.
3. Старцев Е.А., Бахматов П.В., Михайлов К.А. Разработка и исследование сварочной порошковой проволоки, полученной с использованием переработанных отходов металлургического предприятия ученые записки Комсомольского-на-Амуре Государственного Технического Университета. 2022. № 5 (61). С. 117-122. EDN: MCZFBA
4. Старцев Е.А. Переработка техногенных отходов металлургического производства в сварочные материалы В книге: **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ.** тезисы докладов участников XIX Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых. Санкт-Петербургский горный университет. Санкт-Петербург, 2023. С. 78-81. EDN: INEROO
5. Старцев Е.А. О возможности создания и применения сварочных материалов из техногенных и минералогических отходов В сборнике: *Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению.* Материалы II Международной научно-практической конференции молодых ученых. Редколлегия: А.В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2022. С. 163-166. EDN: VVEBTS

УДК 621.391

Гончаров Павел Олегович, студент, Воронежский институт ФСИН России

Goncharov Pavel Olegovich, student, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

Лубенцов Александр Витальевич, кандидат географических наук, доцент, Воронежский институт ФСИН России

Lubentsov Alexander Vitalievich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

#### **ЭКРАНИРОВАНИЕ КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ БОРЬБЫ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ SHIELDING AS A METHOD OF PROTECTION AGAINST ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE**

Аннотация. В современном мире повсеместное использование электронных устройств и беспроводных технологий приводит к значительному увеличению уровня электромагнитного излучения в окружающей среде. Электромагнитные поля могут оказывать негативное воздействие на здоровье людей и работу чувствительных приборов. В данной статье рассматривается экранирование как эффективный метод защиты от нежелательного электромагнитного воздействия. Описываются различные типы экранов, их физические принципы работы, а также приводятся примеры применения экранирования в различных областях техники и быта. Особое внимание уделено материалам для экранирования и перспективам развития этой технологии в будущем.

Abstract. In the modern world, the widespread use of electronic devices and wireless technologies leads to a significant increase in the level of electromagnetic radiation in the environment. Electromagnetic fields can have a negative impact on human health and the operation of sensitive devices. This article discusses shielding as an effective method of protection against unwanted electromagnetic interference. Various types of screens, their physical principles of operation are described, as well as examples of the use of shielding in various fields of technology and everyday life. Special attention is paid to the materials for shielding and the prospects for the development of this technology in the future.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, экранирование, металлические экраны, композиты, ферриты.

Keywords: electromagnetic radiation, shielding, metal screens, composites, ferriites.

### **Введение**

Электромагнитное излучение окружает нас повсюду – от бытовых приборов до промышленных установок и телекоммуникационных систем. Хотя большинство источников электромагнитного излучения считаются безопасными при соблюдении норм радиационной безопасности, существует множество ситуаций, когда необходимо обеспечить защиту от электромагнитных полей. Это может касаться как здоровья людей, так и обеспечения стабильной работы чувствительной электроники.

Одним из наиболее эффективных методов снижения влияния электромагнитных полей является экранирование. Экранирование представляет собой процесс создания барьеров между источником излучения и защищаемым объектом, что позволяет существенно уменьшить интенсивность электромагнитного поля в заданном пространстве. Этот метод широко используется в самых разных сферах, начиная от медицинского оборудования и заканчивая системами связи и вычислительными устройствами.

Целью настоящей статьи является анализ принципов экранирования, рассмотрение основных типов экранов и материалов, используемых для этих целей, а также оценка эффективности экранирования в различных условиях эксплуатации. Кроме того, будут рассмотрены перспективы дальнейшего развития технологий экранирования и возможные направления исследований в этой области.

### **Основная часть**

Экранирование основано на использовании свойств материалов, способных поглощать или отражать электромагнитные волны. Основные механизмы экранирования включают:

**Отражение:** Металлические экраны эффективно отражают электромагнитные волны за счет высокой проводимости материала. При этом часть энергии волны преобразуется в тепловую энергию, а остальная отражается обратно в пространство.

**Поглощение:** Некоторые материалы способны поглощать электромагнитную энергию, превращая ее в тепло. Такие материалы часто используются в случаях, когда важно минимизировать отражение волн, чтобы избежать интерференции и помех.

**Рассеяние:** Материалы с высоким показателем преломления могут рассеивать электромагнитные волны, уменьшая их интенсивность в определенном направлении.

Для достижения максимальной эффективности экранирования обычно комбинируют несколько механизмов. Например, многослойные экраны могут включать слои металла для отражения и слоями абсорбирующих материалов для поглощения остаточной энергии.

Существует несколько основных типов экранов, каждый из которых имеет свои особенности и область применения:

1. Металлические экраны. Металлы обладают высокой электропроводностью, что делает их идеальными материалами для экранирования. Наиболее распространенными металлами для экранирования являются алюминий, медь и сталь. Эти материалы

обеспечивают эффективное отражение электромагнитных волн, особенно в диапазоне радиочастот.

Преимущества:

- Высокая эффективность экранирования.
- Низкая стоимость производства.
- Долговечность и устойчивость к внешним условиям.

Недостатки:

- Возможен эффект резонанса, который может привести к усилению электромагнитного поля внутри экрана.
- Необходимость заземления для предотвращения накопления статического электричества.

2. Композиционные материалы. Композиты представляют собой смеси металлов и диэлектриков, такие как углеродные волокна, металлические порошки и полимеры. Они сочетают свойства обоих компонентов, обеспечивая высокую степень экранирования при меньшем весе и стоимости.

Преимущества:

- Легкость и гибкость.
- Возможность адаптации под конкретные условия эксплуатации.
- Устойчивость к коррозии и другим видам химического воздействия.

Недостатки:

- Сложность производства и высокая стоимость некоторых композитов.
- Ограниченная эффективность в определенных частотных диапазонах.

3. Ферритовые материалы. Ферриты – это магнитные материалы, обладающие уникальными свойствами, позволяющими им эффективно поглощать электромагнитные волны. Они широко применяются в высокочастотных устройствах, таких как антенны и фильтры.

Преимущества:

- Высокое поглощение электромагнитной энергии.
- Эффективность в широком диапазоне частот.
- Отсутствие необходимости в заземлении.

Недостатки:

- Более высокая стоимость по сравнению с металлическими экранами.
- Ограниченный температурный диапазон использования.
- Материалы для экранирования

Выбор материала для экранирования зависит от множества факторов, включая частоту электромагнитного излучения, требуемый уровень защиты, условия эксплуатации и бюджет проекта. Рассмотрим некоторые из наиболее распространенных материалов:

1. Алюминий. Он обладает хорошей проводимостью и относительно низкой стоимостью, что делает его популярным выбором для экранирования в радиоэлектронной промышленности. Он легко обрабатывается и может использоваться в виде фольги или тонких листов.

2. Медь. Этот материал обладает еще большей проводимостью, чем алюминий, но стоит дороже. Она часто применяется в высокочувствительных системах, где требуется максимальная защита от электромагнитных помех.

3. Сталь. Стальные экраны отличаются прочностью и долговечностью, однако они менее эффективны для экранирования высоких частот из-за своей меньшей проводимости. Тем не менее, стальные конструкции находят применение в тяжелых промышленных установках.

4. Углеродные волокна. Эти волокна обладают хорошими экранирующими свойствами благодаря своей структуре и электрическим характеристикам. Они легки, проч-

ны и устойчивы к коррозии, что делает их привлекательными для использования в аэрокосмической и автомобильной отраслях.

5. Полимерные композиты. Полимерные композиты, содержащие металлические наполнители, позволяют создавать легкие и гибкие экраны, подходящие для широкого спектра применений. Примером может служить композит на основе полиамида, армированного металлическим порошком.

Экранирование находит широкое применение в различных областях:

1. Медицинское оборудование. Медицинские приборы, такие как МРТ сканеры и рентгеновские аппараты, генерируют мощные электромагнитные поля, которые могут влиять на работу других устройств и даже представлять опасность для пациентов. Для защиты от этого воздействия используются специальные экранирующие кабины и помещения.

2. Телекоммуникационное оборудование. Башни мобильной связи, радиостанции и другие устройства передачи данных должны быть защищены от внешних электромагнитных помех, чтобы обеспечивать стабильную связь. Экранированные корпуса и кабели помогают снизить влияние внешних факторов и повысить надежность системы.

3. Бытовая техника. Современные бытовые приборы, такие как микроволновые печи и компьютеры, оснащены встроенными экранами для уменьшения электромагнитного излучения. Это помогает защитить пользователей от возможного вредного воздействия и предотвратить взаимные помехи между устройствами.

4. Военное оборудование. Военные системы, включая радары, средства связи и навигацию, требуют высокого уровня защиты от электромагнитных воздействий. Специальные экранированные контейнеры и покрытия используются для маскировки и защиты от обнаружения.

Перспективы развития экранирующих технологий. Технологии экранирования продолжают развиваться, адаптируясь к новым вызовам и требованиям современного мира.

Среди перспективных направлений можно отметить:

Разработка новых композиционных материалов с улучшенными экранирующими характеристиками. Создание интеллектуальных экранов, способных адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды. Применение нанотехнологий для создания ультратонких и высокоэффективных экранов. Исследование возможностей использования графена и других двумерных материалов для экранирования. Эти инновации позволят значительно улучшить эффективность экранирования и расширить спектр его применения в различных отраслях [1-4].

### **Заключение**

Экранирование является одним из ключевых инструментов для защиты от электромагнитного воздействия. Современные материалы и технологии позволяют создавать эффективные экраны, способные надежно защищать как людей, так и чувствительное оборудование. Дальнейшее развитие этой области обещает новые решения, которые помогут справиться с растущими требованиями к защите от электромагнитных полей в условиях все большего распространения электронных устройств и беспроводных сетей.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Н В. Максименко, Г И. Евтушенко, Н Н. Гончарова **ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ** // Гигиена и санитария. 1973. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-printsipy-ekranirovaniya-elektromagnitnyh-poley>.
2. Пастернак Ю. Г., Фёдоров М. Н., Фёдоров С. М. Экспериментальная установка для определения эффективности экранирующих свойств различных материалов в радиоча-

стотном диапазоне // Вестник ВГТУ. 2011. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnaya-ustanovka-dlya-opredeleniya-effektivnosti-ekraniruyuschih-svoystv-razlichnyh-materialov-v-radiochastotnom>.

3. Самоквасова Ю. Н., Ромашенко М. А. Методика выбора конструкционных материалов для задач экранирования электронных средств // Вестник ВГТУ. 2012. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-vybora-konstruktsionnyh-materialov-dlya-zadach-ekranirovaniya-elektronnyh-sredstv>.

4. М. П. Бадёр Электромагнитная совместимость электрооборудования сверхпроводникового и традиционного исполнения в системе тягового электроснабжения // Электрификация транспорта. 2012. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektromagnitnaya-sovmestimost-elektrooborudovaniya-sverhprovodnikovogo-i-traditsionnogo-ispolneniya-v-sisteme-tyagovogo>.

УДК :621.391

Гончарова Диана Олеговна, студент, ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России  
Goncharova Diana Olegovna, student, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

Лубенцов Александр Витальевич, кандидат географических наук, доцент, Воронежский институт ФСИН России

Lubentsov Alexander Vitalievich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

## **ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ ТОЧНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАДЫМЛЕННОСТИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ OPTIMIZATION OF WAVELET ANALYSIS ALGORITHMS FOR FAST AND ACCURATE SMOKE DETECTION IN REAL TIME**

Аннотация. Задача быстрого и точного обнаружения задымленности является критически важной в ряде прикладных областей, включая мониторинг окружающей среды, безопасность и управление чрезвычайными ситуациями. Традиционные подходы к обнаружению задымленности часто сталкиваются с проблемами, связанными со сложностями анализа больших объемов данных в реальном времени. В настоящей работе рассматриваются способы оптимизации алгоритмов вейвлет-анализа для повышения скорости и точности обнаружения задымленности. Предложены новые методы адаптации вейвлетов к особенностям видеосигнала, позволяющие снизить вычислительную сложность без потери качества анализа. Результаты экспериментов показывают значительное улучшение производительности предлагаемых алгоритмов по сравнению с существующими подходами, что делает их перспективными для внедрения в реальные системы мониторинга.

Abstract. The task of rapid and accurate smoke detection is critically important in a number of application areas, including environmental monitoring, safety and emergency management. Traditional approaches to smoke detection often face problems related to the complexities of analyzing large amounts of data in real time. In this paper, we consider ways to optimize wavelet analysis algorithms to increase the speed and accuracy of smoke detection. New methods of adapting wavelets to the features of the video signal are proposed, which reduce computational complexity without loss of analysis quality. The experimental results show a significant improvement in the performance of the proposed algorithms compared to existing approaches, which makes them promising for implementation in real monitoring systems.

Ключевые слова: вейвлет-анализ, задымленность, реальное время, алгоритмы, оптимизация, мониторинг

Key words: wavelet analysis, smoke, real time, algorithms, optimization, monitorin

## **Введение**

Обнаружение задымленности в режиме реального времени представляет собой важную задачу во многих приложениях, таких как мониторинг окружающей среды, пожарная безопасность и предотвращение чрезвычайных ситуаций. Современные системы видеонаблюдения генерируют огромные объёмы данных, требующие быстрой и точной обработки для эффективного реагирования на потенциальные угрозы. Однако традиционные методы анализа видеоизображений зачастую недостаточно эффективны из-за высоких требований к вычислительным ресурсам и необходимости балансировки между скоростью и качеством обработки. Одним из наиболее перспективных инструментов для анализа видеоизображений является вейвлет-анализ, который позволяет эффективно извлекать информацию из сигналов и изображений, обеспечивая высокую точность при низком уровне шума. Однако стандартные реализации вейвлет-анализа требуют значительных вычислительных ресурсов, что затрудняет их использование в режиме реального времени [1-5]. Целью данного исследования является разработка и тестирование новых методов оптимизации алгоритмов вейвлет-анализа для повышения скорости и точности обнаружения задымленности в режиме реального времени. Мы предлагаем адаптивный подход к выбору параметров вейвлета и использование параллельных вычислений для сокращения времени обработки данных без ущерба для качества анализа.

## **Основная часть**

Вейвлет-анализ представляет собой мощный инструмент для разложения сигналов и изображений на различные частотные компоненты. Он основывается на представлении сигнала через базисные функции, так называемые вейвлетами, которые локализованы как во временной, так и в частотной области. Это свойство делает вейвлеты идеальным инструментом для анализа нелинейных и непериодических сигналов, таких как изображения с задымленностью.

Основные этапы вейвлет-анализа включают:

1. Выбор подходящего типа вейвлета.
2. Разложение исходного сигнала на уровни детализации.
3. Реконструкцию сигнала на основе коэффициентов вейвлет-разложения.

Традиционно используются фиксированные параметры вейвлета, однако для достижения максимальной эффективности в конкретных приложениях требуется адаптация этих параметров к характеристикам обрабатываемого сигнала.

В настоящее время предлагается два основных подхода к оптимизации алгоритмов вейвлет-анализа:

1. Адаптивное определение параметров вейвлета. Для каждого кадра видеоизображения используется предварительное анализирование сцены для выбора наилучшего типа вейвлета и уровня декомпозиции. Это позволяет максимально точно извлекать информацию о задымленности, минимизируя количество избыточных операций.

2. Параллельная обработка данных. Для ускорения вычислений применяется параллельное выполнение операций вейвлет-анализа на нескольких процессорах или графических картах (GPU). Это позволяет существенно сократить общее время обработки кадров, сохраняя высокое качество анализа.

Для тестирования предложенных методов была разработана экспериментальная система, включающая следующие элементы:

1. Набор тестовых видеоизображений с различными уровнями задымленности.
2. Программное обеспечение для выполнения вейвлет-анализа с возможностью настройки параметров и параллельной обработки.
3. Критерии оценки эффективности, включающие скорость обработки и точность обнаружения задымленности.

Эксперименты проводились на компьютере с процессором Intel Core i7 и видеокартой NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti. Тестировались различные комбинации параметров вейвлета и уровней параллелизма для нахождения оптимальной конфигурации.

Результаты экспериментов показали значительное увеличение скорости обработки данных при использовании предложенных методов оптимизации. Среднее время обработки одного кадра уменьшилось с 200 мс до 50 мс, что соответствует четырёхкратному увеличению производительности.

Точность обнаружения задымленности также увеличилась благодаря адаптивной настройке параметров вейвлета. Средний процент правильно идентифицированных случаев задымленности вырос с 85% до 95%, что свидетельствует о высокой надёжности предложенного метода.

На рисунках 1 и 2 представлены примеры обработанных изображений с различной степенью задымленности. Видно, что предложенный метод успешно выделяет области задымленности, даже при наличии сложных фонов и условий освещения.



Рисунок 1– Пример изображения с низкой задымленностью



Рисунок 2–Пример изображения с высокой задымленностью

Таблица 1 – Сравнение показателей скорости и точности для традиционного и оптимизированного методов вейвлет-анализа.

Метод	Время обработки (мс)	Точность (%)
Традиционный	200	85
Оптимизированный	50	95

Несмотря на значительные успехи, предложенная методика имеет некоторые ограничения. Например, она требует дополнительных вычислительных ресурсов для реализации параллельных вычислений, что может быть проблемой для некоторых систем. Также необходимо дальнейшее исследование для оптимизации алгоритма в условиях сильно зашумлённых изображений.

### **Заключение**

В данной работе представлена новая методика оптимизации алгоритмов вейвлет-анализа для быстрого и точного обнаружения задымленности в режиме реального времени. Разработанный подход включает адаптивную настройку параметров вейвлета и использование параллельных вычислений, что позволило значительно ускорить процесс обработки данных без потерь в качестве анализа. Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность предложенной методики, что делает её перспективной для практического применения в системах мониторинга и управления безопасностью. Дальнейшие исследования будут направлены на расширение функциональности и повышение устойчивости алгоритма к различным условиям эксплуатации.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Левтин К. Э. Детектирование дыма в видео потоках на основе вейвлет-преобразования // Решетневские чтения. 2009. №13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/detektirovanie-dyama-v-video-potokah-na-osnove-veyvlet-preobrazovaniya>.
2. Левтин К. Э., Фаворская М. Н. Применение вейвлет-анализа к детектированию дыма на открытых пространствах // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2010. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-veyvlet-analiza-k-detektirovaniyu-dyama-na-otkrytyh-prostranstvah>.
3. Шоберг А. Г., Сай С. В. ОБНАРУЖЕНИЕ ДЫМА НА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ // Вестник ТОГУ. 2013. №1 (28). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obnaruzhenie-dyama-na-videoizobrazheniis-ispolzovaniem-veyvlet-preobrazovaniya>.
4. Левтин К. Э. Визуальное детектирование дыма на основе морфологической обработки и вейвлет-преобразования // Решетневские чтения. 2010. №14. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vizualnoe-detektirovanie-dyama-na-osnove-morfologicheskoy-obrabotki-i-veyvlet-preobrazovaniya>.
5. Левтин Константин Эдуардович Визуальное детектирование дыма на основе пространственно-временного анализа видеопоследовательностей // Сибирский аэрокосмический журнал. 2012. №3 (43). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vizualnoe-detektirovanie-dyama-na-osnove-prostranstvenno-vremennogo-analiza-videoposledovatelnostey>.

УДК 621.313.04

Иванов Виктор Викторович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ivanov Viktor Viktorovich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Ткачева Юлия Ильинична, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tkacheva Julia Ilyinichna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ДИАГНОСТИКА СТАРЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ И ПРОГНОЗ ЕЕ ДАЛЬНЕЙШЕГО СРОКА СЛУЖБЫ В СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ DIAGNOSTICS OF INSULATION AGING AND PREDICTION OF ITS FURTHER SERVICE LIFE IN OIL-IMMERSED POWER TRANSFORMERS**

Аннотация. В работе описано как срок службы изоляции силового масляного трансформатора можно определить по объему фурфурола, находящемуся в трансформаторном масле. Приведена зависимость между объемом фурфурола и оставшимися годами эксплуатации. Описана зависимость между содержанием фурфурола и годами эксплуатации трансформатора. Определено как значения фурфурола, СО и СО<sub>2</sub> влияют на тип старения изоляции трансформатора. Приставлен расчет средней степени полимеризации по содержанию фурфурола.

Abstract. The paper describes how the service life of oil-immersed power transformer insulation can be determined by the volume of furfural dissolved in transformer oil. The relationship between the volume of furfural and the remaining years of service is given. The correlation between the furfural volume and the years of operation of the transformer is described. Determined how the values of furfural, CO and CO<sub>2</sub> affect the type of aging of transformer insulation. The calculation of the average degree of polymerization based on the furfural content is presented.

Ключевые слова: силовой масляный трансформатор, срок эксплуатации.

Key words: oil-immersed power transformer, service life.

## Введение

В настоящее время часть силовых трансформаторов, используемых в электрических сетях, имеет срок эксплуатации, который уже превысил свою предельную норму. Однако такие трансформаторы продолжают использовать, если в процессе их работы не наблюдается явных отклонений в выходных параметрах, несмотря на то, что с увеличением их срока службы повышается вероятность их аварийного выхода из строя. Поскольку одним из самых уязвимых элементов трансформатора является его изоляция (состояние которой напрямую влияют на срок службы трансформатора), то был проведен анализ факторов, влияющих на ее состояние. Изоляция в силовых трансформаторах обычно представляет собой трансформаторное масло, в которое погружена активная часть трансформатора, и изоляционную бумагу, охватывающую силовые обмотки. Под воздействием тепла, воды и кислорода [1] такая изоляция подвергается процессу деградации в течение всего периода эксплуатации. Так как составляющие такой изоляции в основном органические, то в результате их эксплуатации появляются примеси, которые в конечном итоге растворяются в трансформаторном масле.

## Основная часть

Известно, что срок службы состояние бумажной изоляции, оподляется с помощью концентрации фурфурола, СО и СО<sub>2</sub>, а также степени полимеризации бумаги [1]. Из исследований, проведенных по деградации целлюлозной изоляции в силовых трансформаторах известно, что при сочетании различных нагрузок гликозидные связи целлюлозной бумаги разрываются на более короткие цепи с образованием производных фурана [2]. Среди них 2-фурфурол наиболее стабилен и всегда присутствует, поэтому его используют в качестве индикатора для определения деградации изоляционной бумаги. Зависимость между содержанием фурфурола и годами эксплуатации можно представить в следующем виде [3]:

$$\lg(2\Phi) = -2,268 + 0,07624 \cdot T \quad (1)$$

где 2Φ - концентрация 2-фурфурола в мг/л трансформаторного масла;  
Т - год эксплуатации.

Согласно исследованиям [4,5] значения фурфурола, СО и СО<sub>2</sub> можно использовать в логическом анализе в качестве зависимых переменных для определения состояния трансформатора С<sub>тр</sub>. При этом уравнение для нахождения С<sub>тр</sub> будет представлено в следующем виде:

$$C_{тр} = 2,451 \cdot CO_2 - 3,722 \cdot CO - 2,633 \cdot \Phi + 2,569 \quad (2)$$

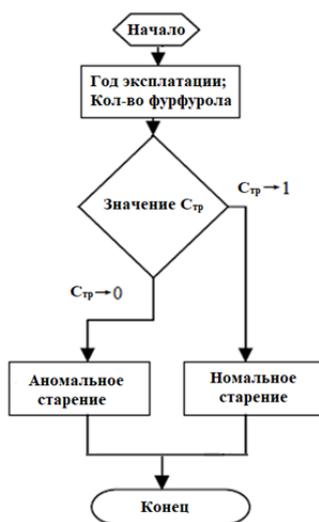


Рисунок 1 – Схема определения типа старения изоляции

В уравнении (2) если С<sub>тр</sub> стремится к 0 – трансформатор находится в состоянии аномального (быстрого) старения, а если С<sub>тр</sub> приближается к 1 – трансформатор находится в состоянии нормального старения. Схема определения типа старения изоляции показана на рисунке 1.

У трансформаторов, отработавших нормативные сроки, оценка состояния бумажной изоляции обмоток по степени полимеризации и определение концентрации фурановых соединений проводится во время комплексных диагностических обследований. При нормальном состоянии изоляции степень полимеризации находится в пределах 800–600 единиц. Ресурс бумажной изоляции считается истощенным при падении степени полимеризации бумаги до 250 единиц. Если содержание фурфурола ниже значения статистического распределения в разные годы эксплуатации, это означает, что трансформатор ому старению, другими словами, это означает, что трансформаторном режиме работы. Предполагая, что Т представляет собой атации, средняя степень полимеризации (ПР) может быть оце-

нена по содержанию фурфурола в следующем уравнении:

$$ПР = 406,25 - 347,22 \cdot \lg(2Ф) \quad (3)$$

Согласно уравнениям (1) и (3) максимальное значение ПР составляет 1193,75. Минимальное значение ПР (которое является минимально допустимой нормой и свидетельствует о значительном износе изоляции трансформатора) будет составлять 250, когда время эксплуатации трансформатора достигнет 34 лет.

### **Заключение**

Анализ фурфурола является полезным инструментом для оценки старения бумажной изоляции масляных трансформаторов. Основываясь на полученных расчетах можно заранее определить степень и тип износа изоляции трансформатора. На основе статистического анализа концентраций фуранов, углубленно исследуются старение твердой изоляции и методы оценки надежности. Была построена схема определения типа старения изоляции. Представленные расчеты можно применять для определения состояния трансформатора во время его эксплуатации.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. М.: ЭНАС, 2002.
2. Львов М.Ю., Кутлер П.П. Физико-химические методы в практике оценки состояния силовых трансформаторов в условиях эксплуатации: Учебно-методическое пособие. - М.: ИУЭ ГУУ, ВИПК-энерго, ИПК госслужбы, 2003. - 20 с
3. Новиков В. Ф. Тонкослойная хроматография фурановых соединений в трансформаторном масле: учебное пособие / В. Ф. Новиков, А. В. Танеева. – Казань : КГЭУ, 2020. – 85 с
4. Ершов Б.Г. Измерение степени полимеризации бумажной изоляции силового оборудования в электроэнергетике и электроэнергетической промышленности / Б.Г. Ершов, В.Б. Комаров, Е.О. Лютко // Измерения в современном мире – 2013: сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2013. С. 21–24.
5. Аракелян В.Г. Химия, механизмы и кинетика старения целлюлозных материалов. Часть I. Химия, механизмы и кинетика разложения целлюлозы // Электротехника. 2006. № 6. С. 29–38.

УДК 519.688

Костиков Сергей Александрович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kostikov Sergey Alexandrovich, postgraduatet, Komsomolsk-na-Amure State University

### **ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ ПО РАСЧЕТУ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОБМЕНА В КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕНЫ ТРОМБА BASIC PRINCIPLES OF OPERATION OF THE PROGRAM FOR CALCULATION OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES IN A COMBINED HEAT SUPPLY SYSTEM USING A TROMB WALL**

Аннотация. Данная статья посвящена проблематике проектирования комбинированных систем теплоснабжения для зданий малой этажности с использованием солнечной энергии. Солнечное излучение является непостоянным и эффективность пассивных солнечных систем отопления зависит от места размещения здания и климата. В результате чего возникают проблемы в оценке возможностей применения солнечных пассивных систем отопления и перераспределения тепловой нагрузки на дополнительные и

основные источники тепла в течение всего отопительного сезона. В данной статье представлена блок-схема программы по расчету процессов теплообмена в комбинированной системе теплоснабжения с использованием стены Тромба, которая позволяет предварительно оценить возможности применения солнечных пассивных систем отопления в установленных условиях.

Abstract. This article is devoted to the problems of designing combined heat supply systems for low-rise buildings using solar energy. Solar radiation is variable and the efficiency of passive solar heating systems depends on the location of the building and the climate. As a result, problems arise in assessing the possibilities of using solar passive heating systems and redistributing the heat load to additional and main heat sources throughout the heating season. This article presents a block diagram of the program for calculating heat and mass transfer processes in a combined heat supply system using a Trombe wall, which allows a preliminary assessment of the possibilities of using solar passive heating systems under specified conditions.

Ключевые слова: Стена Тромба, программа моделирования, математическая модель.

Key words: Trombe wall, simulation program, mathematical model.

### **Введение**

Рост потребления энергетических ресурсов оказывает огромное влияние на стоимость топлива, где из-за ее повышения возникают энергетические кризисы. В связи с этой ситуацией, каждый год увеличивается объем реализации проектов как полностью автономных систем теплоснабжения, так и комбинированных систем теплоснабжения, в которых используются солнечные пассивные системы отопления. Актуальность данной тематики заключается в том, что несмотря на развитие солнечной энергетики, что подтверждается множеством различных исследований по данному направлению, тем не менее реализация проектов комбинированных систем теплоснабжения с использованием солнечной энергии является сложной задачей. В первую очередь это обусловлено неоднородностью исходных данных для проектирования: местоположение, климатические условия, окружающая обстановка, доступность топлива и его стоимость. На данном этапе оцениваются возможности и целесообразность применения солнечных пассивных систем отопления в комбинированных системах теплоснабжения. Необходимо учитывать тот факт, что колебания в значениях температуры наружного воздуха и количества падающей солнечной энергии происходят не только во время отопительного сезона, но и в течение каждого дня расчетного периода. Данный фактор приводит к возникновению проблем с распределением тепловой нагрузки на дополнительные и основные источники тепла за весь отопительный период. При возникновении проблем с расчетом мощности каждого теплового источника в системе теплоснабжения на ранних этапах проектирования наилучшим вариантом будет применение математического моделирования. При помощи математического моделирования возможно осуществить прогнозирование физических процессов, которые будут протекать в рассматриваемой системе теплоснабжения с различными типами тепловых источников.

В настоящем исследовании представлена блок-схема программы, построенная на основе математической модели, которая используется для расчета системы теплоснабжения с различными типами тепловых источников, которые в том числе используют солнечную энергию.

### **Основная часть**

Солнечные пассивные системы отопления чаще всего используются в малоэтажном строительстве. Это обусловлено тем, что малоэтажному зданию не требуется большого количества тепловой энергии для обогрева помещений в отличие от многоэтажных зданий или промышленных объектов. На сегодняшний день стена Тромба является самой распространённой системой пассивного солнечного отопления. Стена Тромба включает в себя следующие конструктивные элементы: светопрозрачная кон-

струкция, массивная стена, которая снаружи выполнена из черного цвета, прослойки между светопрозрачной конструкцией и массивной стеной для движения воздушного потока и вентиляционные каналы, через которые воздух попадает в воздушную прослойку и выходит из нее обратно. Стена Тромба аккумулирует в себе тепловую энергию за счет нагрева наружной поверхности массивной стены солнечной энергией за период светового дня. Поступающий холодный воздух из обогреваемого помещения подается в прослойку через нижние вентиляционные каналы. При помощи конвективного теплообмена холодный воздух нагревается за счет наружной поверхности массивной стены и движется обратно в обогреваемое помещение через верхние вентиляционные каналы.

Для прогнозирования тепловых параметров и эффективности проектируемой стены Тромба и оценки ее влияния на систему теплоснабжения в целом при помощи математического моделирования необходимо учитывать каждый конструктивный элемент, который в ней имеется [1].

Согласно [2], остекление оказывает большое влияние тепловые потери. При этом, при увеличении толщины остекления возникает вопрос о том, какое количество солнечного излучения для нагрева массивной стены оно пропустит через себя.

Согласно [3], толщина прослойки воздуха и скорость подаваемого воздуха в нее оказывает большое влияние на коэффициент конвективной теплопередачи.

Согласно [4], массивная стена напрямую влияет на то, сколько тепловой энергии аккумулируется в течение солнечного дня. При этом, толщина массивной стены оказывает влияние на снижение потребления невозобновляемых источников энергии от применения стены Тромба в системе теплоснабжения здания малой этажности [1].

Помимо влияния каждого конструктивного элемента стены Тромба на ее тепловую эффективность, очень важно учитывать колебания солнечной радиации и температуры наружного воздуха как за весь отопительный период, так и в течение суток, когда мощности различных источников тепла должны быть перестроены с учетом влияния переменных данных.

Для прогнозирования работы системы теплоснабжения с различными источниками тепла, в том числе использующие солнечную энергию, была разработана программа на основе математической модели. Блок-схема данной программы представлена на рисунке 1.

На первом этапе в программу вносятся исходные данные, куда входят почасовые изменения температуры наружного воздуха, падающего солнечного излучения, мощность основного источника тепла, скорость воздушного потока в прослойке, а также температуры каждого конструктивного элемента стены Тромба.

На втором этапе производится расчет теплового потока от солнечной радиации ( $I_1$ ) на массивную стену за сутки.

Третий этап включает в себя проведение прогнозных расчетов температурных колебаний каждого конструктивного элемента рассматриваемой стены Тромба.

Если в стене Тромба используются материалы с фазовым изменением, тогда на четвертом этапе рассчитывается количество расплавленного или затвердевшего вещества за расчетный период. Данный этап позволяет определить количество тепловой энергии, которое было накоплено или отдано на обогрев воздуха за расчетный период.

В текущем варианте в системе теплоснабжения используется два типа различных тепловых источников, где дополнительным источником тепла является стена Тромба, а в качестве основного выступает классический двухконтурный отопительный котел.

На последнем этапе определяется мощность основного источника тепла, исходя из суточной солнечной активности. Далее, полученные расчетные данные используются для определения температуры воздуха в помещении.

При использовании разработанной программы наиболее целесообразнее использовать шаг моделирования времени от 5 до 10 минут. В таком случае, результаты моделирования будут иметь более точные прогнозные значения для искомых расчётных параметров. Программа производит расчет при помощи метода последовательных приближений.

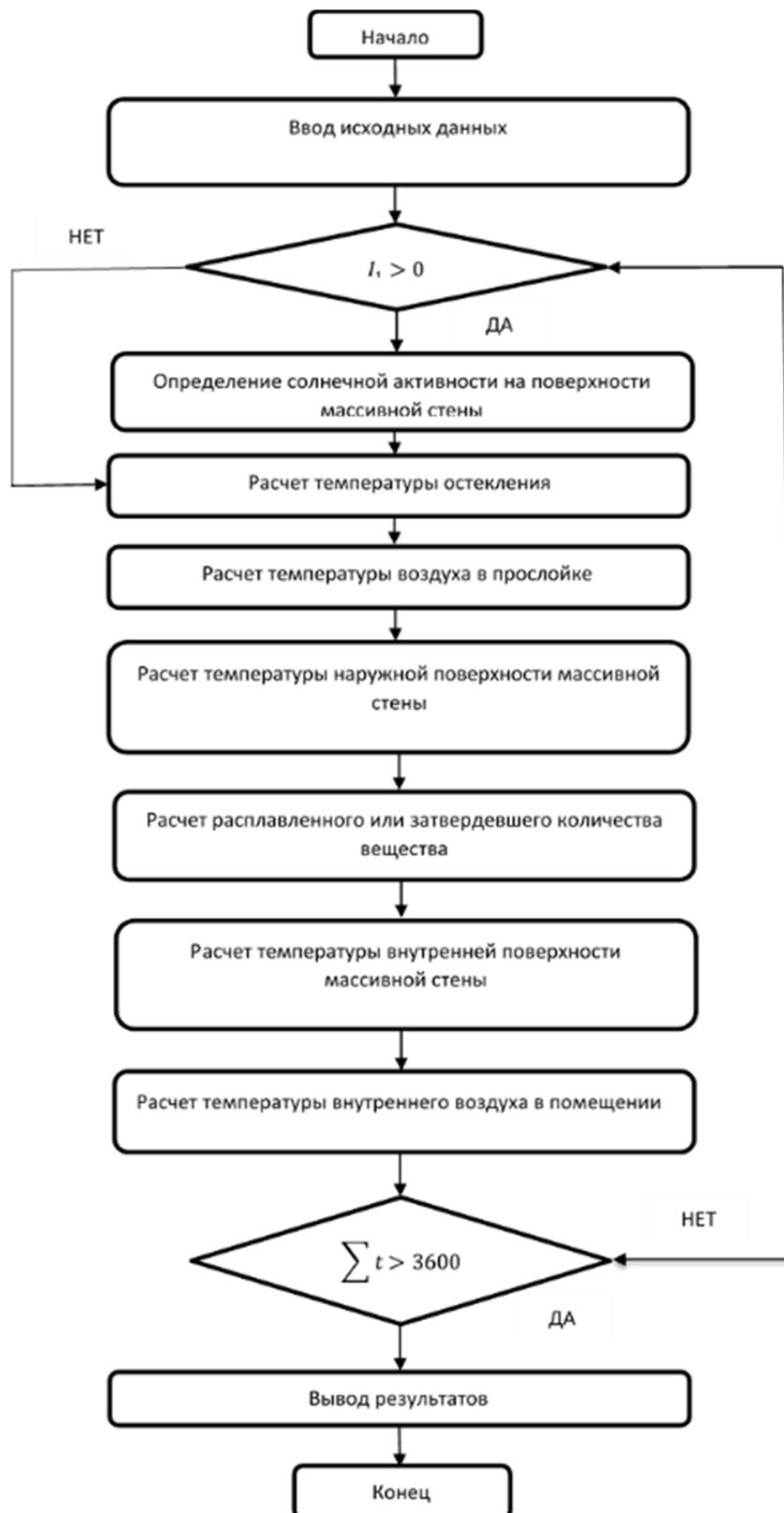


Рисунок 1 – Блок-схема программы расчета процессов тепломассообмена в комбинированной системе теплоснабжения с использованием стены Тромба

## **Заключение**

Разработанная программа расчета процессов тепломассообмена в комбинированной системе теплоснабжения позволяет предварительно оценить возможности стены Тромба и ее влияние на тепловой комфорт в отапливаемом помещении, а также спрогнозировать требуемую мощность основного источника тепла и сэкономленный объем потребляемого топлива для его работы в установленных климатических условиях за расчетный период.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Nour E.Z., Philippe D., Sylvie B., Yacine A. O., Val'erie L. Review of the experimental studies on trombe walls hygrothermal performance: A special focus on the PIV application in such a system // *Journal of Building Engineering*. 2024. v. 98. December c. 1-21. – <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111321>.
2. Yuling X., Tao Z., Zihao L., Hiroatsu F. Thermal performance study of low-e glass Trombe wall assisted with the temperature-controlled ventilation system in Hot-Summer/Cold-Winter Zone of China // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2023. v. 45. May c. 1-11. – <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102882>.
3. Shiqiang Z., Mengjie S., Kui S., A. Ghani R., Jinhui J. H., Xiaotong Z., Siru Y. Passive application of PCMs for the Trombe wall: a review // *Energy Storage and Saving*. 2023. December c. 1-77. – <https://doi.org/10.1016/j.enss.2024.06.001>.
4. Mahmud H. A., Mahmood K., Rawand E. J. Minimizing energy losses and enhancing performance of Trombe wall systems through partial evacuation of the air gap // *Energy and Buildings*. 2024. v. 307, March. c. 1-15. – <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113959>.

УДК 620.178.152.22

Люхо Илья Андреевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lyukho Ilya Andreevich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Весненко Сергей Дмитриевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Vesnenko Sergey Dmitrievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ STUDY OF HARDNESS OF DISPERSED-REINFORCED COMPOSITE MATERIALS**

Аннотация. В данной работе проведено исследование твердости полимерных композиций, армированных дисперсными частицами. Изучено влияние содержания наполнителя на механические свойства материала при использовании метода Бринелля. Образцы с различным содержанием наполнителя подверглись измерению твердости, и полученные данные показали, что увеличение концентрации наполнителя приводит к росту твердости до определенного предела, после чего твердость снижается. Максимальная твердость достигается при содержании наполнителя около 30%, что связано с оптимальной структурой распределения частиц в матрице. При более высоких концентрациях возникают структурные дефекты, которые снижают механическую прочность.

Abstract. In this paper, the hardness of polymer composites reinforced with dispersed particles was studied. The effect of filler content on the mechanical properties of the material was studied using the Brinell method. Samples with different filler changes were subjected to hardness measurements, and data on changes were obtained according to which an increase in filler concentration leads to an increase in hardness to the hardness limit, after which the hardness decreases. The maximum hardness at a filler content of about 30 %, which is due to

the in-dependent structure of particle distribution in the matrix. At higher concentrations, structural defects occur that reduce mechanical strength.

Ключевые слова: твердость, Бринелль, полимерные композиционные материалы (ПКМ).

Key words: Hardness, Brinell, polymer composite materials (PCM).

### Введение

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) получили широкое распространение за счет своих уникальных свойств, включающих в себя превосходные прочностные характеристики и относительно небольшой вес. Композиты нашли свое применение во многих отраслях человеческой деятельности, включая машиностроение и строительство. На 2024 год объемы производства и потребления ПКМ может достигать до 14 млн. тонн в год [1]. Существуют эффективные методы утилизации ПКМ, описанные в работах [2,3]. В результате описанных процессов удалось извлечь стекловолокна, измельчить их, и на их основе получить стеклонаполненные дисперсно-армированные композиты, что описано в работе [4]. Для дальнейших исследований необходимо установить физические свойства полученных композиций, одним из которых является твердость. Целью данного исследования является измерение твердости дисперсно-армированных композитов.

### Материалы и методы

В работе измеряется твердость пластмасс в соответствии с ГОСТ 4670-2015 в лаборатории механических испытаний КНАГУ на стационарном твердомере по методу Бринелля Time Group ТН600. Тестовая нагрузка составила 4291 Н, диаметр шарика 10 мм.

Во избежание растрескивания и последующего разрушения образцов они отливались в алюминиевые шайбы, препятствующие разлету осколков разрушающихся пластиков по горизонтали (рисунок 1).



Рисунок 1 – Образцы композитов для испытаний на твердость

Расчет твердости производился по формуле:

$$HB = \frac{0,102 * 2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

где HB – Твердость по шкале Бринелля; F – Прилагаемая нагрузка, Н;  
d – Диаметр отпечатка, мм; D – Диаметр шарика, мм;

### Основная часть

В ходе проведения эксперимента по определению твердости были получены измерения основных точек, полученные результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерения твердости основных точек

Содержание наполнителя в образце, %	Диаметр отпечатка, мм	Твердость, НВ
0	6,09	13,47864
	5,6	16,2546
	5,81	14,98032
	6,01	13,88677
	5,93	14,31118
10	5,98	14,04397
	5,67	15,81432
	5,77	15,21252
	5,67	15,81432
	5,82	14,923
15	5,42	17,46496
	5,41	17,53572
	5,04	20,45384
	5,69	15,69146
	5,47	17,11689
30	5,25	18,7228
	5,15	19,52095
	5,21	19,0366
	5,35	17,96855
	5,26	18,64546
50	4,01	33,21877
	4,33	28,27192
	4,08	32,03683
	4,02	33,04614
	4,13	31,22903

По данным таблицы 1 был построен график зависимости твердости от содержания наполнителя (рисунок 2).

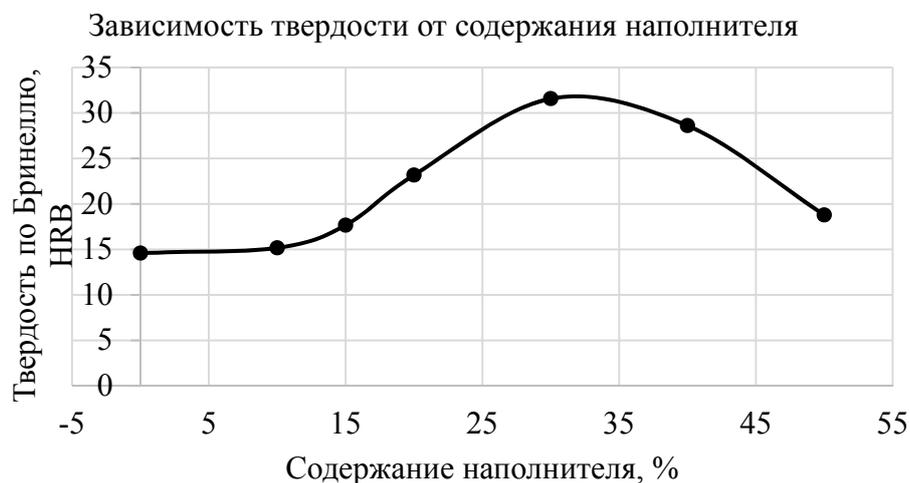


Рисунок 2 – Исследование твердости

Из графика зависимости твердости полимерных композитов от содержания в них дисперсного наполнителя видно, что твердость образца возрастает по мере увеличения содержания наполнителя. До 10 % не наблюдается значительного увеличения твердости. Это связано с тем, что при низком содержании наполнителя полимерная матрица по-прежнему доминирует в механическом поведении материала, таким образом ограничивая армирующий эффект. В диапазоне 10-30 % начинается постепенный рост твердости. Частицы наполнителя начинают формировать более плотную и связанную сеть, которая способствует перераспределению нагрузки в материале. Взаимодей-

ствия между частицами становятся более значимыми, что улучшает сопротивление композита деформации. Максимальная твердость достигает значений 33 единицы по шкале Бринелля в точке 30 %, что практически в 2 раза больше первоначальной прочности полимерной матрицы. После 30 % содержания наполнителя наблюдается снижение твердости, что связано с повышением хрупкости композита и образования концентраторов напряжений в агломератах наполнителя. Полученные данные согласуются с зависимостями, полученными в других исследованиях [5].

#### **Заключение**

Проведенные эксперименты показали, что:

1. Твердость дисперсно-армированных композитов увеличивается с ростом содержания наполнителя, достигая пика при концентрации 30 %. В этот момент композит демонстрирует наивысшую твердость, что объясняется образованием плотной армирующей сети частиц, равномерно распределяющих нагрузку в материале.

2. При содержании наполнителя выше 30 % наблюдается падение твердости. Это связано с агрегацией частиц и недостаточным количеством матрицы для обеспечения связности структуры, что приводит к возникновению хрупкости и образованию концентраторов напряжений.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Дориомедов М. С. Российский и мировой рынок полимерных композитов (обзор) //Труды Виам. – 2020. – №. 6-7 (89). – С. 29-37.
2. Проценко А. Е. и др. Химический рециклинг стеклопластиков с термореактивной матрицей в среде сверхкритического этанола: QFXUVR //Ползуновский вестник. – 2023. – №. 2. – С. 193-200.
3. Protsenko A., Lyukho I., Petrov V. Extraction of chemical components from polymer composites waste //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2023. – Т. 2910. – №. 1.
4. Люхо, И. А. Получение пластмасс из волокон, полученных при рециклинге ПКМ / И. А. Люхо, А. Е. Проценко // Наука, инновации и техно-логии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 41-43.
5. Мухитдинов М. Б. Исследование влияния содержания различных наполнителей на износостойкость композиционных полимерных материалов //Механика и техно-логия. – 2024. – Т. 1. – №. 14. – С. 221-228.

УДК 531.754

Люхо Илья Андреевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lyukho Ilya Andreevich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Весненко Сергей Дмитриевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Vesnenko Sergey Dmitrievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ МЕТОДОМ АРХИМЕДА И ПИКНОМЕТРИЧЕСКИ STUDY OF THE DENSITY OF DISPERSION-REINFORCED FIBER-GLASS USING ARCHIMEDES' METHOD AND THE PYCNOMETER METHOD**

Аннотация. В работе представлены результаты исследования плотности композитных материалов на основе стеклопластиков, армированных дисперсными наполнителями: измельченными стекловолокнами и полыми стеклосферами. Исследование проводилось с применением двух методов измерения плотности: метода Архимеда и с помощью пикнометра, что позволило сравнить точность и согласованность данных. Добавление

стекловолокон значительно повышает плотность материала, благодаря их высокой плотности и структурной прочности. В случае с наполнением стеклосферами наблюдается обратная тенденция: плотность композита снижается по мере увеличения содержания стеклосфер, что связано с их пустотелой структурой и способностью заполнять объем материалом меньшей плотности. При концентрации стеклосфер более 15 % композит становится легче воды.

Abstract. The paper presents the results of a study of the density of composite materials based on fiberglass reinforced with dispersed fillers: crushed glass fibers and hollow glass spheres. The study was conducted using two methods for measuring density: the Archimedes method and a pycnometer, which made it possible to compare the accuracy and consistency of the data. Adding glass fibers significantly increases the density of the material due to their high density and structural strength. In the case of filling with glass spheres, the opposite trend is observed: the density of the composite decreases as the content of glass spheres increases, which is due to their hollow structure and ability to fill the volume with a material of lower density. At a concentration of glass spheres of more than 15 %, the composite becomes lighter than water.

Ключевые слова: плотность, пикнометрический метод, метод архимеда, полимерные композиционные материалы (ПКМ).

Key words: density, pycnometric method, Archimedes method, polymer composite materials (PCM).

### Введение

Отрасль производства полимерных композиционных материалов (ПКМ) активно развивается из-за их уникальных механических свойств по отношению к традиционным материалам. Однако, с увеличением объемов производства и обработки полимерных композитов растет количество трудно перерабатываемых отходов. Существуют эффективные методы утилизации ПКМ, описанные в работах [1,2]. В результате описанных процессов удалось извлечь стекловолокна, измельчить их, и на их основе получить стеклонанполненные дисперсно-армированные композиты, что описано в работе [3]. Для дальнейших исследований необходимо установить физические свойства полученных композиций, одним из которых является плотность. Целью данного исследования является измерение плотности композитов двумя способами и сравнение полученных результатов.

### Материалы и методы

В данной работе плотность измеряется следующими методами: методом Архимеда и пикнометрически, согласно ГОСТ 15139-69 и ISO 1183-1:2012. Для измерения плотности пластиков с разным содержанием наполнителя было подготовлено по 5 образцов разных размеров.

Для определения плотности по методу Архимеда измерялась масса образца и устанавливался его конечный объем, путем измерения вытесненного объема воды и контролем посредством снятия его геометрических размеров и расчёта объема, в последствие чего высчитывалась плотность.

Для пикнометрического метода использовались формулы:

$$m_{\text{жв}} = m_{\text{пж}} - m_{\text{пож}}$$

где  $m_{\text{жв}}$  – Масса жидкости вытесненной, кг;

$m_{\text{пж}}$  – Масса пикнометра с жидкостью, кг;

$m_{\text{пож}}$  – Масса пикнометра с жидкостью и образцом, кг.

$$V = \frac{m_{\text{жв}}}{\rho_{\text{ж}}}$$

где  $V$  – Объем образца, м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{ж}}$  – Плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$$\rho = \frac{m_0}{V};$$

где  $\rho$  – плотность образца, кг/м<sup>3</sup>;

$m_0$  – масса образца, кг.

### Основная часть

В ходе проведения эксперимента по определению плотности были получены измерения основных точек, полученные результаты которых представлены в таблицах 1,2.

Таблица 1 – Результаты измерения плотности методом Архимеда

№	Содержание наполнителя, %	$V_{cp}, м^3 \cdot 10^6$	$m_{cp}, кг$	$\rho_{cp}, кг/м^3$
Без наполнителя				
1	0	2,56	0,0030	1187,22
Наполнитель – измельченные стекловолокна				
2	10	1,51	0,0018	1206,68
3	30	1,56	0,0022	1382,40
4	50	1,64	0,0026	1586,84
Наполнитель – стеклосферы МС-ВП-А9				
6	10	1,45	0,0016	1099,91
7	15	1,54	0,0015	975,83
8	20	1,72	0,0016	930,23

Таблица 2 – Результаты измерения плотности с помощью пикнометра

№	Содержание наполнителя, %	$m_{Ocp}, кг$	$m_{ож}$	$V_{cp}, м^3 \cdot 10^6$	$\rho_{cp}, кг/м^3$
Без наполнителя					
1	0	0,00307	0,25152	2,67	1149,92
Наполнитель – измельченные стекловолокна					
2	10	0,00189	0,25038	1,53	1236,96
3	30	0,00205	0,25032	1,40	1398,43
4	50	0,00249	0,25035	1,49	1663,67
Наполнитель – стеклосферы МС-ВП-А9					
6	10	0,00288	0,25158	2,73	1058,72
7	15	0,00111	0,24768	1,17	948,25
8	20	0,00199	0,24663	2,22	896,40

По данным таблиц 1 и 2 был построен график зависимости плотности от содержания наполнителя, который представлен на рисунке 1.

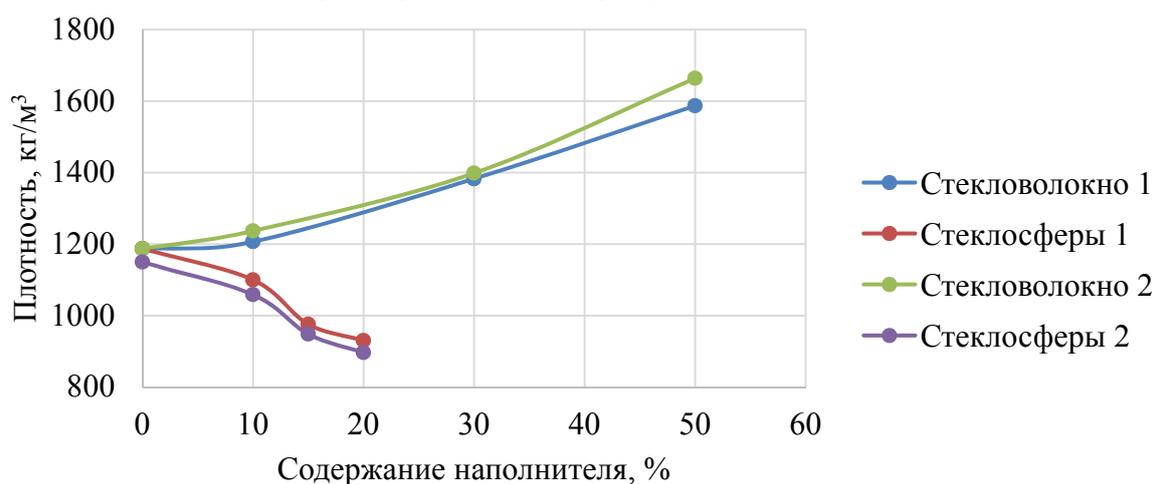


Рисунок 1 – Исследование плотности пластмасс

Измерения плотности разными методами показали сравнительно похожие результаты. Минимальная разница в плотности между методами составила 1,15 %, а максимальная – около 4,71 %.

Композиции, полученные на основе измельченных стекловолокон, имеют тенденцию к увеличению плотности при увеличении содержания наполнителя. Это вызвано

тем, что стекловолокна обладают относительно высокой плотностью и прочностью, поэтому добавление этих волокон в матрицу полимерного композита повышает общую плотность материала.

Для сферопластиков наблюдается обратная картина, плотность уменьшается при увеличении содержания наполнителя, это вызвано пустотелой структурой стеклосфер[4], имеющих меньшую плотность по сравнению с самой полимерной матрицей. Когда стеклосферы добавляются в композит, они создают более легкую и пористую структуру, что уменьшает общую плотность материала. С увеличением содержания стеклосфер в композите его плотность уменьшается, так как растет объем воздуха, заключенного внутри самих сфер[5].

Сферопластики, с содержанием наполнителя более 15 % имеют плотность ниже, чем у воды, в результате чего он всплывает (рисунок 2).



Рисунок 2 – Сферопластики, с содержанием наполнителя 10 % (слева) и 15 % (справа)

#### **Заключение**

В ходе исследования была проанализирована плотность композитных материалов, армированных стекловолокном и стеклосферами, методами Архимеда и пикнометрически. Композиты, содержащие измельченные стекловолокна, демонстрируют увеличение плотности с ростом количества наполнителя, что объясняется высокой плотностью стекловолокон. В то же время композиты со стеклосферами показывают противоположную тенденцию: их плотность уменьшается с увеличением содержания стеклосфер, что обусловлено пустотелой структурой этих частиц и их низкой плотностью.

Оба метода измерения плотности показали согласующиеся результаты, при этом расхождение между методами находилось в пределах от 1,15 % до 4,73 %, что указывает на высокую точность измерений.

Важно отметить, что композиты с содержанием стеклосфер более 15 % становятся легче воды и приобретают плавучесть, что открывает перспективы для применения таких материалов в конструкциях, требующих легкости и пористости.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Проценко А. Е. и др. Химический рециклинг стеклопластиков с термореактивной матрицей в среде сверхкритического этанола: QFXUVR //Ползуновский вестник. – 2023. – №. 2. – С. 193-200.
2. Protsenko A., Lyukho I., Petrov V. Extraction of chemical components from polymer composites waste //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2023. – Т. 2910. – №. 1.
3. Люхо, И. А. Получение пластмасс из волокон, полученных при рециклинге ПКМ / И. А. Люхо, А. Е. Проценко // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 41-43.
4. Трофимов А. Н. и др. Морфология и свойства полых стеклянных микросфер. Часть 1. О размерах промышленных полых стеклянных микросфер //Пластические массы. – 2020. – Т. 1. – №. 11-12. – С. 15-19.
5. Трофимов А. Н. и др. Получение и переработка полимерных композиционных материалов с полыми стеклянными сферами и разными типами дисперсных структур //Пластические массы. – 2023. – №. 11-12. – С. 8-12.

УДК 004.03

Миркин Сергей Михайлович, курсант, Воронежский институт ФСИН России  
Mirkin Sergey Mikhailovich, cadet, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

Лубенцов Александр Витальевич, кандидат географических наук, доцент, Воронежский институт ФСИН России

Lubentsov Alexander Vitalievich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

## **СРАВНЕНИЕ РАДИОВОЛНОВЫХ ДВУХПОЗИЦИОННЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ COMPARISON OF TWO-POSITION RADIO WAVE DETECTORS**

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию и сопоставлению радиоволновых двухпозиционных извещателей, применяемых в системах охраны. В ней подробно изучены принципы функционирования этих устройств, их основные параметры, факторы, определяющие выбор модели: чувствительность, надёжность, устойчивость к внешним воздействиям, лёгкость установки и ценовая доступность. Приведены примеры востребованных моделей «Альфа-Радио 200», «Вектор-Про» и «Сигнал Профи-400», с детальным разбором их достоинств и недостатков. Отдельное внимание уделено рекомендациям по выбору оборудования с учётом особенностей охраняемых объектов и условий их использования.

**Abstract.** The article is devoted to the study and comparison of radio-wave two-position detectors used in security systems. It examines in detail the principles of operation of these devices, their main parameters, factors determining the choice of model: sensitivity, reliability, resistance to external influences, ease of installation and affordability. Examples of popular models "Alfa-Radio 200", "Vector-Pro" and "Signal Profi-400" are given, with a detailed analysis of their advantages and disadvantages. Special attention is paid to recommendations on the choice of equipment, taking into account the characteristics of protected facilities and the conditions of their use.

**Ключевые слова:** радиоволновые двухпозиционные извещатели, системы безопасности, охранные технологии, сравнение моделей, принципы работы, защита периметра, надёжность, устойчивость к помехам, популярные модели.

**Keywords:** radio wave two-position detectors, security systems, security technologies, model comparison, principles of operation, perimeter protection, reliability, resistance to interference, popular models.

### **Введение**

Радиоволновые двухпозиционные извещатели занимают фундаментальное место в современных системах охраны, благодаря высокой точности фиксации попыток проникновения и минимальному количеству ложных тревог. Их использование охватывает широкий круг задач: защита промышленных зон, жилых комплексов, транспортных узлов и объектов энергетической инфраструктуры. Устройства отличаются эффективностью за счёт применения радиоволн, которые создают невидимую защитную область, пересечение которой активирует сигнал тревоги.

### **Основная часть**

Современные охранные системы включают различные виды извещателей, каждый из которых выполняет специфические функции. К основным типам относятся инфракрасные, ультразвуковые, магнитные и радиоволновые. Последние выделяются своей универсальностью и способностью работать в сложных условиях, таких как плохая видимость, густая растительность или нестабильная температура окружающей среды.

Их функционирование основано на передаче и приёме радиоволн, что позволяет фиксировать движение в заданной зоне с высокой степенью точности.

Двухпозиционные радиоволновые извещатели представляют собой устройства, состоящие из передатчика и приёмника, которые размещаются друг напротив друга, создавая прямую зону обнаружения. Это делает их особенно продуктивными для охраны периметров, где важно фиксировать пересечение границы. В отличие от однопозиционных систем, работающих на основе отражения сигнала от движущихся объектов, двухпозиционные устройства демонстрируют более стабильные результаты, поскольку они менее подвержены влиянию внешних факторов: погодные условия или случайные препятствия. [2]

Технология радиоволновых извещателей базируется на применении электромагнитных волн для создания охранного периметра. Оборудование состоит из передатчика, генерирующего радиосигнал, и приёмника, который его принимает. Располагаясь друг напротив друга, они формируют линейную зону обнаружения. Когда нарушитель пересекает эту границу, параметры сигнала изменяются, и система отмечает проникновение.

Двухпозиционные радиоволновые извещатели функционируют за счёт регистрации изменений амплитуды, частоты или фазы. Прохождение объекта через зону детекции вызывает искажение импульса, которое моментально распознаётся системой. Технология не только обнаруживает факт вторжения, но и может определить направление движения. Точность работы обеспечивается стабильностью радиоволн и низкой подверженностью влиянию внешних условий. [4]

Чувствительность и дальность обнаружения являются важными параметрами устройства. Они способны фиксировать перемещение объектов на дистанции до 200 метров, что делает их незаменимыми для защиты протяжённых периметров. Высокая чувствительность позволяет выявлять как крупные, так и мелкие цели, в том числе дроны или небольших животных. Однако чрезмерная восприимчивость может привести к ложным тревогам, поэтому современные модели оснащаются опцией регулировки.

Радиоволновые системы демонстрируют стабильную работу в условиях сложных погодных явлений: дождь, снег или густой туман. Радиосигналы хорошо проникают через густую растительность, что делает такие их подходящими для охраны территорий с насыщенным ландшафтом. Современные разработки охватывают инструменты подавления электромагнитных помех, минимизируя вероятность ошибок. [1]

Простота установки и удобство эксплуатации выделяют радиоволновые извещатели среди других решений. Их монтаж может быть выполнен на опорах или стенах, а процесс настройки занимает минимум времени. Функции автоматической калибровки и удалённого управления дополнительно упрощают использование оборудования.

Радиоволновые извещатели предлагаются в разных ценовых категориях, что позволяет выбрать модель для крупных промышленных объектов и частных владений. Недорогие аппараты обеспечивают базовые функции, тогда как премиальные модели содержат интеграцию с интеллектуальными системами безопасности и возможность анализа движения.

Современный рынок предлагает множество решений, каждое из которых обладает своими особенностями. Среди наиболее востребованных моделей выделяются «Альфа-Радио 200», «Вектор-Про» и «Сигнал Профи-400», которые широко применяются на промышленных объектах и для охраны частной собственности.

Модель «Альфа-Радио 200» отличается большой дальностью обнаружения до 200 метров и способностью функционировать в экстремальных погодных условиях. Благодаря встроенной функции автоматической калибровки настройка устройства значительно упрощается. Основные преимущества – её высокая надёжность и устойчивость к помехам, однако стоимость может быть препятствием для пользователей с ограниченным бюджетом.

«Вектор-Про» считается универсальным решением для охраны объектов средней площади. Компактные размеры, низкий уровень энергопотребления и возможность интеграции с другими системами безопасности делают эту модель востребованной. Несмотря на меньшую дальность действия (до 150 метров), устройство пользуется популярностью благодаря удачному сочетанию стоимости и функциональности.

Для защиты протяжённых периметров, таких как промышленные зоны, отлично подходит «Сигнал Профи-400». Прибор обеспечивает дальность работы до 400 метров и обладает высокой восприимчивостью, что позволяет настроить несколько зон обнаружения. Однако сложность установки требует профессиональных навыков, что может увеличить затраты на внедрение.

Радиоволновые двухпозиционные извещатели активно используются в самых разных сферах. На промышленных предприятиях они применяются для охраны территорий заводов, складских комплексов и энергетических объектов, где необходима надёжная защита в условиях неблагоприятной погоды. В жилых зонах они подходят для обеспечения безопасности частных домовладений, участков и многоквартирных комплексов. В транспортной инфраструктуре извещатели находят применение для защиты вокзалов, аэропортов и портов. [3]

При выборе оборудования следует учитывать условия его использования. Для охраны протяжённых периметров, подвергающихся воздействию сильного ветра и осадков, идеально подойдут модели с высокой дальностью действия и устойчивостью к погодным факторам, такие как «Сигнал Профи-400». Для небольших территорий оптимальным вариантом станут более доступные устройства с базовыми функциями, например, «Вектор-Про». В условиях сложного ландшафта, где необходимо справляться с растительностью и возможными помехами, стоит выбирать модели с повышенной устойчивостью к внешним воздействиям.

Для объективной оценки радиоволновых двухпозиционных извещателей целесообразно провести сравнительный анализ их характеристик. Основные параметры были сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ

Модель	Дальность действия	Чувствительность	Устойчивость к погодным условиям	Энергопотребление	Стоимость
Альфа-Радио 200	До 200 метров	Высокая	Отличная	Среднее	Высокая
Вектор-Про	До 150 метров	Средняя	Хорошая	Низкое	Средняя
Сигнал Профи-400	До 400 метров	Очень высокая	Отличная	Высокое	Очень высокая

Анализ моделей, представленных на рынке, продемонстрировал их пригодность для самых разных задач – от охраны промышленных зон до защиты частных территорий. В сравнении были рассмотрены такие модели, как Альфа-Радио 200, Вектор-Про и Сигнал Профи-400, каждая из которых имеет свои сильные и слабые стороны.

В условиях повышенных требований к безопасности критически важных объектов (энергетическая инфраструктура или крупные складские комплексы) особенно выделяются устройства с максимальной дальностью действия и высокой устойчивостью к помехам. При этом для менее масштабных задач, например, охраны домов или коммерческих зданий, экономически выгодными и достаточно функциональными остаются модели средней ценовой категории.

Применение инструментов автоматической калибровки, защиты от погодных факторов и возможности интеграции с интеллектуальными системами безопасности, существенно повышает эффективность извещателей. Однако выбор модели должен основываться на конкретных условиях эксплуатации: климатические факторы, размер охраняемой территории и доступный бюджет.

## Заключение

Таким образом, радиоволновые двухпозиционные извещатели продолжают оставаться надёжным инструментом для обеспечения безопасности, адаптируясь под современные вызовы. Их дальнейшее развитие будет связано с интеграцией более сложных аналитических возможностей, улучшением устойчивости к внешним воздействиям и снижением энергопотребления, что сделает их ещё более востребованными на рынке.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Демидов Д.Е., Легкий В.Н., Фисун И.Д., Читава А.Р. Интегрированный комплекс инженерно-технических средств охраны и системы контроля и управления доступом // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/integrirrovannyy-kompleks-inzhenerno-tehnicheskikh-sredstv-ohrany-i-sistemy-kontrolya-i-upravleniya-dostupom> (дата обращения: 24.11.2024).
2. Тельный А.В., Черников Р.С. Алгоритм обработки тревожных извещений объектовых средств охранной сигнализации для снижения уровня ложных срабатываний // Системы управления, связи и безопасности. 2019. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algorithm-obrabotki-trevozhnyh-izvescheniy-obektovykh-sredstv-ohrannoy-signalizatsii-dlya-snizheniya-urovnya-lozhnyh-srabatyvaniy> (дата обращения: 24.11.2024).
3. Технические средства охраны периметра URL: [https://forteza.ru/files/uploads/Catalogue/Catalog%20FORTEZA\\_RUS.pdf](https://forteza.ru/files/uploads/Catalogue/Catalog%20FORTEZA_RUS.pdf)
4. Уралов Н. В., Шимон Н. С., Калач А. В., Калач Е. В. Критерии оценки радиотехнических систем охраны периметра с учетом особенностей их функционирования // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-otsenki-radiotekhnicheskikh-sistem-ohrany-perimetra-s-uchetom-osobennostey-ih-funktsionirovaniya> (дата обращения: 24.11.2024).

УДК 621.45.03

Мионов Арсений Николаевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Mironov Arseniy Nikolaevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Новгородов Никита Александрович, кандидат технических наук, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Novgorodov Nikita Alexandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Komsomolsk-na-Amure State University

Ткачева Юлия Ильинична, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Julia Ilyinichna Tkacheva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ КАПСУЛ С АКТИВНЫМ ВЕЩЕСТВОМ В ЛОПАТКЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

## **PHYSICAL AND MATHEMATICAL FOUNDATIONS FOR DETERMINING THE POSITION OF CAPSULES WITH AN ACTIVE SUBSTANCE IN THE BLADE OF A GAS TURBINE ENGINE**

Аннотация. В статье описана проблема определения мест размещения капсул с активным веществом способа выявления микротрещин в лопатках газотурбинных двигателей. В статье предложены физико-математические подходы для решения проблемы размещения капсул с учетом геометрических параметров лопатки и капсулы, прочностных характеристик.

Abstract. The article describes the problem of determining the placement of capsules with an active substance of a method for detecting microcracks in the blades of gas turbine engines. The article proposes physical and mathematical approaches to solve the problem of capsule placement, taking into account the geometric parameters of the blade and capsule, and strength characteristics.

Ключевые слова: лопатка, газотурбинный двигатель, капсула, активное вещество.

Key words: blade, gas turbine engine, capsule, active substance.

### **Введение**

В настоящее время в авиастроительной сфере промышленности Российской Федерации наблюдается постепенный переход на импортозамещающие технологии. Вместе с тем, область авиационного двигателестроения, в основном, отличалась высоким уровнем локализации производства в нашей стране. Однако, в сфере обеспечения надежности работы авиационного двигателя и снижения износа его лопаток, зачастую используются иностранные системы, технологии и методы. Поэтому весьма актуальными являются исследования, направленные на разработку отечественных эффективных систем обнаружения неисправностей авиационных двигателей, особенно основанных на выполнении своих функций напрямую во время работы двигателя. В работах [1 – 3] теоретически рассмотрены основные проблемы и пути их решения, связанные с образованием и распространением микротрещин в рабочих лопатках газотурбинных двигателей. Основой данного теоретического анализа послужил способ обнаружения микротрещин в лопатках газотурбинных двигателей, предложенный доцентом М.С. Гринкругом и аспирантом М. Кара Балли. Способ заключается в помещении в тело лопатки тонкостенной капсулы со специальным активным веществом и определения его наличия в проточной части двигателя в случае выхода вещества из возникшей в лопатке микротрещины во время работы двигателя. Для всех лопаток (особенно при большой площади их профиля) необходимо помещать внутрь несколько капсул. Решение данной задачи технически не является тривиальным, поскольку сама лопатка авиационного двигателя в основном имеет довольно сложную форму на каждом поперечном сечении, а сам её профиль испытывает закрутку – поворот профиля лопатки вокруг продольной оси. Цель данной работы заключается в формировании основы для определения точного местоположения отверстий для помещения капсул с активным веществом в тело лопатки газотурбинного двигателя с учетом геометрических параметров её профиля и капсулы.

### **Основная часть**

На рисунке 1 показана модель типичной рабочей лопатки авиационного двигателя.

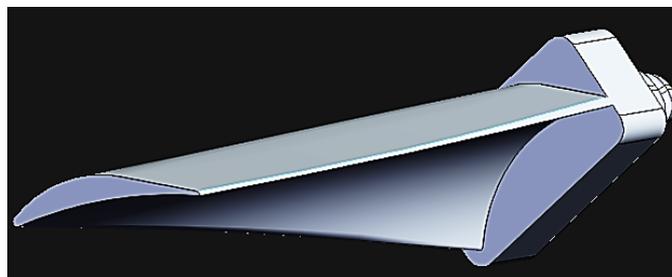


Рисунок 1 – Лопатка газотурбинного двигателя

Для помещения тонкостенных капсул диаметром 2 мм в тело лопатки предлагается проделывать в нём несколько продольных отверстий по всей длине профиля. Ввиду сложности сечения профиля и его закрутки, отверстия должны быть высверлены под определенным наклоном так, чтобы не была повреждена внешняя часть профиля и в соответствии с требованиями достаточной толщины стенки профиля по нагреву и

прочности [4, 5]. Кроме того, при осуществлении наклонного сверления, сечения отверстий по высоте лопатки будут представлять собой не окружности, а эллипсы с разными геометрическими параметрами. Границы эллипсов отверстий могут также выйти за пределы границ профиля лопатки вызвав повреждения стенки лопатки. Для решения данных проблем на первом этапе предлагается разбить профиль лопатки рисунка 1 на несколько поперечных сечений (срезов), изображение одного из которых представлено на рисунке 2.

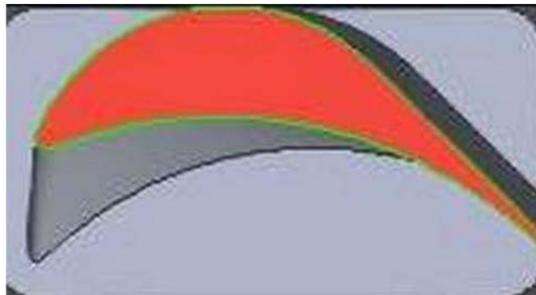


Рисунок 2 – Сечение профиля лопатки газотурбинного двигателя на половине высоты её профиля

Далее для любого сечения каждого профиля конкретной лопатки необходимо с некоторым шагом  $h$  сформировать массив точек, составляющих границы данного сечения (на рисунке 2 отмечено красным цветом). Шаг формирования массива точек должен выбираться так, чтобы максимально точно повторить внешние контуры сечения профиля. Для каждой точки границы нужно определить координаты  $x$ ,  $y$  в системе координат связанной с основанием лопатки, координата  $z$  точек определяется высотой выбранного сечения. Вследствие технологических погрешностей этапа изготовления капсул и процесса сверления отверстия, на его диаметр в ходе проектирования вероятно придется накладывать некоторые припуски (не более 1 мм). Поскольку изображение профиля лопатки или её трехмерная модель по размерам может не соответствовать реальной типовой лопатке двигателя, также необходимо учитывать масштабный коэффициент пересчета координат определяемых центров отверстий на каждом сечении профиля для соответствия реальным размерам лопатки. На следующем этапе необходимо вычислить толщину  $b$  выбранного сечения профиля исходя из координат противоположных точек верхней (индекс 1) и нижней (индекс 2) кромок сечения (рисунок 2) по следующей формуле:

$$b = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}. \quad (1)$$

Таким образом будет получен массив значений толщины для каждого сечения с тем же шагом  $h$ . Для осуществления сверления отверстий достаточным условием является расположение их центров на расстояниях больших минимального значения толщины сечения  $b_{min} = 5$  мм. Необходимым условием – является недопущение близости границ отверстия к кромкам сечения, даже при условии выполнения достаточного условия. После нахождения координат центров отверстий по сечениям необходимо определить искажение формы окружности отверстия к форме эллипса на каждом сечении. Для этого сначала предлагается рассчитать длину  $L$  радиус-вектора, проведенного в каждый из найденных центров отверстий по сечениям аналогично формуле (1), но для всех координат точек:

$$L = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}. \quad (2)$$

Используя значения, вычисленные по формуле (2), нужно вычислить синусы углов наклона радиус векторов  $\alpha$  – к оси  $x$  и  $\beta$  – к оси  $y$ :

$$\sin\alpha = \frac{\Delta x}{L}; \sin\beta = \frac{\Delta y}{L}. \quad (3)$$

Далее, для создания эллиптических кромок отверстий, необходимо делить необходимый радиус отверстия по оси  $x$  на значения  $\sin\alpha$  и умножать по оси  $y$  на значения  $\sin\beta$ , определенные по формуле (3). В конце расчета нужно проверить, чтобы все центры отверстий находились на одной прямой, проведенной от верхнего сечения лопатки до нижнего.

### **Заключение**

В результате исследования были сформированы основы для определения местоположения отверстий для помещения капсул с активным веществом для реализации способа выявления микротрещин в лопатках газотурбинного двигателя. Были учтены геометрические особенности конструкции лопатки, такие как, сложная форма сечений профиля и его закрутка. Также был учтен наклон отверстий к продольной оси лопатки за счет определения вида эллиптической кромки отверстий по сечениям профиля лопатки. Дальнейшие исследования по данной теме предполагают разработку программы, выполняющей перечисленные расчеты в автоматическом режиме, при задании конкретных профилей лопаток.

### **Благодарности.**

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10114 «Разработка системы диагностирования поврежденных турбинных лопаток и способа оптимизации теплоотвода в условиях термической усталости».*

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Андрианов, И. К. Влияние примесей жаропрочных никелевых сплавов, используемых в качестве материалов лопаток турбин, на процесс раскрытия трещин отрыва / И.К. Андрианов, К. А. Палков, Е. К. Чепурнова. – Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2023. – № 1 (65). – С. 4-8.
2. Андрианов, И. К. Принцип суперпозиции при конечно-элементном моделировании задачи о трещине / И. К. Андрианов, К. А. Палков, Е. К. Чепурнова. – Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2023. – № 1 (65). – С. 9-15.
3. Андрианов, И. К. Моделирование хрупкого разрушения турбинной лопатки с дефектом / И. К. Андрианов, К. А. Палков, Е. К. Чепурнова. – Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2024. – № 3 (75). – С. 32-37.
4. Андрианов, И. К. Численная модель многокритериальной оптимизации тепловой защиты оболочечных элементов в условиях теплового и силового нагружения / И. К. Андрианов. – Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2021. – № 3 (51). – С. 14-20.
5. Стробыкин, Н. А. Условия создания бездефектных сварных соединений тонкостенных титановых авиационных конструкций / Н. А. Стробыкин, П. В. Бахматов. – Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2024. – № 5 (77). – С. 98-107.

УДК 621.317

Монастырная Елизавета Игоревна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Monastyrnaya Elizaveta Igorevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Гулина Наталья Андреевна, ассистент факультета компьютерных технологий, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Gulina Natalia Andreevna, Assistant at the Faculty of Computer Technology, Komsomolsk-na-Amure State University

Трещев Иван Андреевич, кандидат технических наук, декан факультета компьютерных технологий, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Treshev Ivan Andreevich, Candidate of Engineering Sciences, Dean of the Faculty of Computer Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University

## **О ВЫБОРЕ СРЕДСТВ АНАЛИЗА ПОЛЯ WI-FI ABOUT THE CHOICE OF WIFI FIELD ANALYSIS TOOLS**

Аннотация. Высокая стоимость профессионального оборудования для проведения измерений электромагнитных полей делает их доступными не для всех. В данной статье мы предлагаем альтернативный подход, основанный на использовании встроенных Wi-Fi адаптеров и недорогого программного обеспечения. Мы проанализируем возможности программы inSSIDer и оценим, насколько она может быть эффективна для проведения таких измерений.

Abstract. The high cost of professional equipment for measuring electromagnetic fields does not make them accessible to everyone. In this article, we propose an alternative approach based on the use of built-in Wi-Fi adapters and inexpensive software. We will analyze the capabilities of the inSSIDer program and evaluate how effective it can be for such measurements.

Ключевые слова: Wi-Fi, электромагнитное поле, аттестационные измерения, анализатор спектра.

Key words: Wi-Fi, electromagnetic field, certification measurements, spectrum analyzer.

### **Введение**

Современные требования, предъявляемые к измерительному оборудованию специалистов по защите информации очень высоки как в части динамических диапазонов, предельной погрешности измерений и диапазона частот, так в отношении добротности и долговечности. Для проведения испытаний по оценке каналов утечки информации, в частности, связанных с измерением электромагнитного поля требуются прецизионные высокоскоростные устройства. В этой статье мы рассмотрим альтернативный подход, основанный на использовании встроенных Wi-Fi адаптеров обычных ноутбуков. Проведем обзор и проанализируем возможности бесплатного программного обеспечения и оценим применимость для проведения аттестационных измерений электромагнитного поля Wi-Fi.

Поиск путей по уменьшению материальных затрат на проведение аттестационных измерений электромагнитного поля Wi-Fi является очень актуальной задачей для всех возможных диапазонов частот.

При этом отметим, что схожие методики могут быть использованы при оценке других беспроводных каналов утечки информации, например, Bluetooth.

### **Основная часть**

Гипотеза состоит в возможности использования приёмо-передающего тракта, встроенного в Wi-Fi плату (адаптер беспроводной сети, беспроводной роутер), для проведения аттестационных измерений. Для проведения исследований нами были выбраны два ноутбука: Lenovo Z570 и ACER 2519 Ex, в которых встроены Wi-Fi платы расши-

рения в miniPCI слотах. На обоих ноутбуках установлена операционная система Windows, которая занимается управлением установленными Wi-Fi платами, встроенными в операционную систему средствами.

Проведя анализ рынка на предмет наличия уже готовых программных средств, способных на выходе предоставить служебную низкоуровневую информацию с Wi-Fi платы, нами было обнаружено довольно большое количество различного вида программного обеспечения, в функционале которых были заявлены мониторинг Wi-Fi сетей, определение их параметров, вида шифрования, центральной частоты излучения, мощности принимаемого сигнала и другие.

Например, «NetStumbler», «WiFi Hopper», «inSSIDer», «Aircrack-NG», «AiroWizard», «CommView for WiFi», «Wifi Analyzer». Большинство из них имеют Shareware лицензии, т.е. в бесплатных версиях имеются функциональные ограничения. Программ, распространяемых по freeware лицензии достаточно мало, и одна из них «inSSIDer», которая, среди всех вышеперечисленных, оказалась наиболее функциональной, удобной в использовании и наглядной.

Рассмотрим, какие возможности предлагает нам копия этой программы, установленная на обычный ноутбук. Главное окно программы представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Главное окно программы «inSSID»

В главном окне мы можем видеть строку главного меню, стандартную для всех программ на платформе Windows, ниже представлены две ссылки для переключения между основными режимами работы программы, режим «Learn» предназначен для обучения использованию программы, а режим «Networks» – основной, для мониторинга улавливаемых Wi-Fi картой сетей и их параметров. Ниже расположена область подсказок по работе с программой. Далее располагается панель фильтра для Wi-Fi сетей.

На рисунке 2 представлена таблица, в которой отображаются все «видимые» сети с указанием их имени (SSID – Service set identification), мощности сигнала, канала (диапазона частот), типа защиты, MAC-адреса базовой станции, протокола Wi-Fi. Если к одной из сетей осуществлено подключение, она помечается символом звёздочки.

SSID	SIGNAL	CHANNEL	SECURITY	MAC ADDRESS	802.11
★ KoroNet	-50	6+10	WPA2-Personal	84:C9:82:0B:28:DE	n
HP-Print-BE-LaserJet CP1025	-67	10	Open	88:9F:FA:4B:0B:BE	g
FoxkidAP	-68	10	WPA2-Personal	F4:EC:38:A5:6D:26	n
Seagate Wireless RDB	-72	5	WPA2-Personal	00:10:75:A7:20:6F	n
WI-FI_WLAN	-81	6	WPA2-Personal	00:1A:A9:B4:70:F9	n
DIRECT-pe[TV]za 46.000r	-82	1+5	WPA2-Personal	C6:73:1E:D3:9D:2A	n
OperonAP	-83	4+8	WPA2-Personal	90:F6:52:89:7C:88	n
Home	-84	6	WPA-Personal	1C7EE5:52:92:0A	n
BCRI	-85	1	WPA2-Personal	68:15:90:EA:A9:A0	n
nehuy tut delat	-85	1+5	WPA2-Personal	F8:1A:67:7C:D3:C0	n

Рисунок 2 – Таблица сетей

Справа от списка сетей представлена подробная информация о выделенной в списке сети, а также некоторая дополнительная информация, связанная с анализом общей картины в эфире, такая, как количество сетей, находящихся на тех же каналах, либо имеющие часть общих частот. В нижней части этой части программы приведён сравнительный график мощностей Wi-Fi сетей.



Рисунок 3 – Распределение сетей по частотному диапазону

Сравним результаты, которые получаются с использованием программного обеспечения и полученными анализатором спектра R&S. Измерения проводились на одной и той же альтернативной измерительной площадке в одно и то же время, без обесточивания излучающего и измеряющего оборудования между измерениями. Антенна H2402 и ноутбук располагались строго в одном и том же месте на расстоянии 10 сантиметров. При измерении ноутбуком с программой «inSSIDer» измеряющий ноутбук ориентировался в пространстве так же, как и излучающий. Использование в обоих ноутбуках стандарта mini-PCI для Wi-Fi плат расширения позволяет сделать вывод об одинаковой поляризации антенн, таблица 1.

Разницу, приблизительно равную 10-15 dBmW, можно объяснить поправочным коэффициентом антенны H2402, равным 10.

Данный эксперимент наглядно показывает, что для проведения испытаний возможно использовать бесплатную утилиту inSSIDer, рыночная стоимость которой 4000-5000 рублей выдаёт, вместо анализатора спектра, стоимостью, превышающую 2000000 рублей. Отметим, что для определенных задач, например, поверка оборудования, невозможно использовать средства измерений, отсутствующие в соответствующих реестрах.

Таблица 1 – Сравнение показаний

Расстояние, м	Мощность, dBmW	
	R&S	Ноутбук Lenovo Z570 с InSSIDer
0,5	-41	-25
1	-42	-35
2	-45	-33
3	-52	-38
4	-58	-43
5	-62	-41
6	-61	-47
7	-60	-42
8	-66	-45

### Заключение

Главной целью исследования являлся поиск альтернативных средств измерения электромагнитного поля WI-FI. В качестве альтернативы анализатора спектра и специализированной высокочастотной антенны были выбраны два ноутбука Lenovo Z570 и ACER, был проведен обзор программных средств, предоставляющих служебную низкоуровневую информацию с Wi-Fi платы. Получив результаты из программного обеспечения и сравнив их с результатами анализатора спектра, выявлено, что разница измерений составляет всего 10-15 dBmW, следовательно, утилиту inSSIDer можно использовать для проведения измерений электромагнитного поля WI-FI с определенными поправками.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ермаков, В. В. Принцип работы и типы технологий Wi-Fi / В. В. Ермаков // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 92-9. – С. 56-59. – DOI 10.18411/trnio-12-2022-420. – EDN ENFHFG.
2. Загребин, А. В. Насколько безопасны беспроводные сети Wi-Fi? / А. В. Загребин // Аллея науки. – 2019. – Т. 1, № 10(37). – С. 852-855. – EDN FGGVVJ.
3. Лазарев, Д. А. Основы технологий Wi-Fi, её особенности и принципы работы / Д. А. Лазарев, Э. А. Хасанов // StudNet. – 2021. – Т. 4, № 7. – С. 140. – EDN EETUPL.
4. Гудин, М. Некоторые тенденции развития технологий WiFi, WiMax, действующих на частоте 2.4 ГГц / М. Гудин, М. Федоров // Беспроводные технологии. – 2006. – № 1(2). – С. 4-6. – EDN MTFZUD.
5. Андрианова, Ю. Wi-Fi: ТЕНДЕНЦИИ И ПРОЕКТЫ / Ю. Андрианова // Первая мила. – 2017. – № 3(64). – С. 34-39. – DOI 10.22184/2070-8963.2017.64.3.34.39. – EDN YMFBRZ.

УДК 621.317

Монастырная Елизавета Игоревна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Monastyrnaya Elizaveta Igorevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Трещев Иван Андреевич, кандидат технических наук, декан факультета компьютерных технологий, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Treshev Ivan Andreevich, Candidate of Engineering Sciences, Dean of the Faculty of Computer Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЗАТУХАНИЯ WI-FI ПОЛЯ RESEARCH AND EVALUATION OF WI-FI FIELD ATTENUATION

Аннотация. В работе представлены результаты исследования электромагнитного поля Wi-Fi диапазонов, проведенного на специально оборудованной измерительной площадке. Для эксперимента была создана измерительная площадка, соответствующая требованиям ГОСТ Р 51320-99. Использовалось специализированное оборудование: анализатор спектра Rohde&Schwarz, генератор сигналов Г4-79 и высокочастотная антенна H2402. В ходе исследования были проведены измерения уровня сигнала Wi-Fi в зависимости от расстояния до источника излучения. Полученные данные позволяют оценить возможности использования предложенной методики для проведения аттестационных испытаний электромагнитного поля Wi-Fi.

Abstract. The paper presents the results of the study of the electromagnetic field of Wi-Fi ranges, conducted on a specially equipped measuring platform. For the experiment, a measuring platform was created that meets the requirements of GOST R 51320-99. Specialized equipment was used: a Rohde&Schwarz spectrum analyzer, a G4-79 signal generator, and an H2402 high-frequency antenna. During the study, measurements of the Wi-Fi signal level were taken depending on the distance to the radiation source. The data obtained allow us to evaluate the possibilities of using the proposed method for conducting certification tests of the Wi-Fi electromagnetic field.

Ключевые слова: Wi-Fi, анализатор спектра, высокочастотная антенна, измерительный стенд.

Key words: Wi-Fi, spectrum analyzer, high-frequency antenna, measuring stand.

### Введение

В исследовании рассматривается возможность проведения испытаний по изменению радиосигнала в диапазоне Wi-Fi. Была создана среда, исключая любые

электронные устройства, кроме используемых в ходе эксперимента. Целью работы является получение зависимости затухания сигнала от расстояния и выявление факторов, влияющих на качество беспроводной связи. В качестве объекта исследования выступал стандартный ноутбук, оборудованный Wi-Fi модулем. Сигнал принимался высокочувствительной антенной, а его параметры обрабатывались с помощью анализатора спектра. Выбор данного метода обусловлен необходимостью получения максимально точных и достоверных данных. Использование анализатора спектра позволяет детально изучить спектр сигнала, выявить наличие помех и оценить уровень мощности.

В ходе эксперимента была подготовлена специальная измерительная площадка, было выполнено заземление металлических конструкций в соответствии с требованиями нормативных документов. Перед началом измерений была проведена тщательная калибровка измерительной аппаратуры для исключения систематических ошибок.

### Основная часть

Исследования Wi-Fi поля было проведено на сертифицированной измерительной площадке. В помещении, в котором отсутствуют какие-либо работающие Wi-Fi устройства, за исключением тех, которые мы используем для своих измерений.

Используемая измерительная площадка располагается в заводском цеху и имеет геометрические размеры 3 метра на 6 метров.

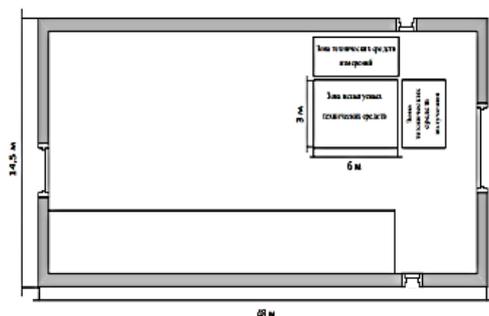


Рисунок 1 – Расположение альтернативной измерительной площадки

В помещении, на полу, в соответствии с требованиями, предъявленными к альтернативным измерительным площадкам, определенным в приложении Е «Сборника методических документов по контролю защищенности информации, обрабатываемой средствами вычислительной техники», утвержденного согласно ГОСТ Р 51320-99 смонтирована «пластина заземления», с геометрическими размерами 3 метра в ширину и 6 метров в длину. Толщина пластины заземления составляет 0,4 мм. Материал пластины заземления – мягкий дюралюминий из шести листов (1 x 2).

Пластина заземлена на отдельный контур, специально выполненный для лаборатории защиты информации. Пластина заземления составлена из 6 отдельных листов, лежащих внахлест, соединяемых сваркой, схема отображена на рисунке.

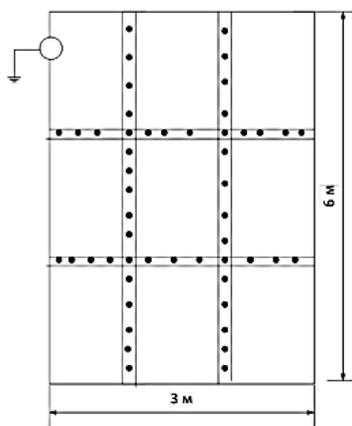


Рисунок 2 – Схема сварки пластин заземления

Для исследования, на измерительную площадку был помещён поворотный штатив из диэлектрических материалов (пластик и дерево) с площадкой на высоте 1 метр для закрепления на ней исследуемого ноутбука, оборудованного Wi-Fi платой.

Перед началом измерений калибруется анализатор спектра Rohde&Schwarz с помощью генератора сигналов высокочастотного Г4-79.

Для этого с помощью внешнего генератора модуляционных сигналов была воссоздана форма и содержание Wi-Fi импульсов базовой станции во время трансляции в эфир информации о собственных параметрах, без подключённых клиентов и усилена высокочастотным генератором сигналов. Анализатор спектра напрямую подключен к выходу генератора Г4-79. На генераторе сигналов выставлена частота, равная частоте, на которой излучают исследуемые нами устройства – 2462 МГц.

После настройки измерительного тракта, будем генерировать сигналы на выходе с мощностью -47,2 dBW

Затем подключаем анализатор спектра, одна из огибающих спектра была переведена в режим запоминания максимального пика по мощности, а вторая на отображение информации в реальном времени без накопления. В результате получили картину, представленную на рисунке 4, из которой видно, что анализатор показывает пиковый уровень в -47 dBW. Это говорит о том, что при измерениях никаких дополнительных поправок, кроме калибровочного коэффициента антенны, учитывать не нужно.



Рисунок 3 – Генерация эталонных сигналов для калибровки

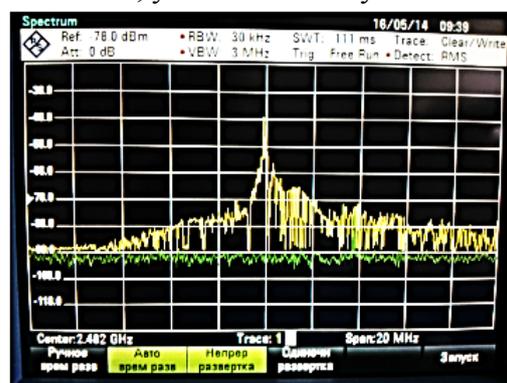


Рисунок 4 – Показания анализатора спектра

В качестве приёмной антенны была использована высокочастотная антенна H2402. На поворотный стенд установлен ноутбук Acer с Wi-Fi платой, далее мы отодвигали стенд на различное расстояние от приёмной антенны.

Результаты измерений, полученные с помощью анализатора спектра, представлены в таблице. Для получения адекватных результатов, накопление максимального пика на анализаторе спектра проводилось ровно 30 секунд для каждого измерения. А результаты усреднялись в ходе пятикратных измерений.

Таблица 1 – Результаты измерения анализатором спектра

Расстояние, м	Мощность, dBmW
0,5	-41
1	-42
2	-45
3	-52
4	-58
5	-62
6	-61
7	-60
8	-66

## **Заключение**

При достаточном уровне компетентности оператора результаты измерений получаются достаточно точными, что позволяет сформировать протоколы содержащие достоверные сведения. Тем не менее, данный метод предполагает большие материальные затраты. Стоимость анализатора спектра R&S превышает 2000000 рублей. А измерительный трак представляет из себя достаточно громоздкую конструкцию, разворачивание, настройка и наладка которой в полевых условиях представляет из себя достаточно сложную задачу, требующую наличия нескольких специалистов и запаса времени, площади. В связи с этим следует задуматься о подборе менее затратных способов организовать площадку по измерению Wi-Fi поля.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Ермаков, В. В. Принцип работы и типы технологий Wi-Fi / В. В. Ермаков // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 92-9. – С. 56-59. – DOI 10.18411/trnio-12-2022-420. – EDN ENFHFG.
2. Загребин, А. В. Насколько безопасны беспроводные сети Wi-Fi? / А. В. Загребин // Аллея науки. – 2019. – Т. 1, № 10(37). – С. 852-855. – EDN FGGVVJ.
3. Лазарев, Д. А. Основы технологий Wi-Fi, её особенности и принципы работы / Д. А. Лазарев, Э. А. Хасанов // StudNet. – 2021. – Т. 4, № 7. – С. 140. – EDN EETUPL.
4. Гудин, М. Некоторые тенденции развития технологий WiFi, WiMax, действующих на частоте 2.4 ГГц / М. Гудин, М. Федоров // Беспроводные технологии. – 2006. – № 1(2). – С. 4-6. – EDN MTFZUD.
5. Андрианова, Ю. Wi-Fi: ТЕНДЕНЦИИ И ПРОЕКТЫ / Ю. Андрианова // Первая мила. – 2017. – № 3(64). – С. 34-39. – DOI 10.22184/2070-8963.2017.64.3.34.39. – EDN YMFBRZ.

УДК 621.317

Монастырская Елизавета Игоревна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Monastyrskaya Elizaveta Igorevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Трещев Иван Андреевич, кандидат технических наук, декан факультета компьютерных технологий, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Treschev Ivan Andreevich, Candidate of Engineering Sciences, Dean of the Faculty of Computer Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ WI-FI ИЗЛУЧЕНИЙ И АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ**

### **STUDY OF THE INTERACTION OF WI-FI RADIATIONS AND ACOUSTIC FIELDS**

Аннотация. Изучение канала акустоэлектрических преобразований является одной из основных задач специалистов по информационной безопасности при исследовании технических каналов учетки информации. В ходе работы рассматривается вопрос модуляции сигналов WI-FI полями в акустическом диапазоне. Для проведения исследования был собран измерительный стенд, содержащий в себе генератор акустических сигналов и приборов детектирования сигнала: анализатора спектра и нано вольтметра, а также источник wi-fi сигнала – беспроводной маршрутизатор. В итоге выявить соответствующие сигналы не удалось.

Abstract. Studying the channel of acoustoelectric transformations is one of the main tasks of information security specialists when studying technical channels for recording information. In the course of the work, the issue of modulating WI-FI signals by fields in the acoustic

range is considered. To conduct the research, a measuring stand was assembled, containing an acoustic signal generator and signal detection devices: a spectrum analyzer and a nanovoltmeter, as well as a Wi-Fi signal source - a wireless router. As a result, it was not possible to identify the corresponding signals.

Ключевые слова: Акустоэлектрические преобразования, Wi-fi, акустический сигнал.  
Key words: Acoustoelectrical transformations, Wi-Fi, acoustic signal.

### **Введение**

С развитием техники возникают все новые технические каналы утечки информации, как совокупность источников сигналов, приемников, среды передачи и помех, действующих в этих средах. Наиболее ранние исследования по акустоэлектрическим преобразованиям относятся к прошлому веку, в то время как сегодня существует потенциально опасное оборудование, возможно подверженное им (IoT, WiMax, Wi-Fi, Bluetooth, 3G, LTE). В данной работе сделана попытка экспериментально подтвердить гипотезу о невозможности выделить акустические составляющие некоторого информативного сигнала в спектре излучения Wi-Fi.

Приведенная в работе методика измерений и полученные результаты требуют дальнейшей доработки и уточнения, но могут быть использованы при анализе соответствующего технического канала.

Группа стандартов IEEE 802.11 описывает взаимодействие между устройствами по радио каналу, на несущих частотах 0.9, 2.4, 3.6 и 5 ГГц. Все эти частоты лежат в пределах УКВ радио диапазона.

Будем рассматривать Wi-Fi как семейство коммуникационного оборудования, обеспечивающего связь. На сегодняшний день повсеместная распространённость Wi-Fi технологий не оставляет никаких сомнений в том, что Wi-Fi устройства, с немалой вероятностью, могут быть использованы при построении локальных вычислительных сетей, в которых циркулирует конфиденциальная информация. А это, в свою очередь, означает, что распространение Wi-Fi устройств может привести к появлению новых, ранее неактуальных, каналов утечки информации.

### **Основная часть**

Как и любая технология, Wi-Fi так же регламентируется особым документом, а именно набором стандартов беспроводной связи IEEE 802.11 рассматривающий радиоволны в диапазоне до 0,9; 2,4; 3,6; 5; 6 и 60 ГГц.

Некоторые устройства, элементы или материалы при воздействии на них акустических волн способны генерировать соответствующие электрические импульсы, модулированные информативным сигналом (например, катушки индуктивности совместно с конденсаторами). Чаще всего акустоэлектрические преобразования можно встретить в устройствах, обладающих микрофонным эффектом либо динамиками. В связи с этим любое Wi-Fi устройство может выступить в роли АЭП и модулировать генерируемое электромагнитное Wi-Fi поле по закону изменения воздействующего акустического сигнала.

В случае с Wi-Fi излучением, несущий высокочастотный сигнал представляет из себя не равномерную синусоиду с постоянной частотой, а сложный, хаотично изменяющийся сигнал, мощность которого распределена по спектру в диапазоне 22 (40) МГц, в то время, как акустический сигнал может принять значение в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц. Следовательно, выделение акустической составляющей из Wi-Fi излучения становится нереализуемым в силу сложности и непредсказуемости несущего сигнала, ширина базы которого позволяет успешно маскировать все акустические низкочастотные составляющие.

Для проверки этой гипотезы на практике, был собран измерительный тракт, состоящий из высокочастотной антенны АГ-2000, генератора акустических сигналов АС-1, беспроводного маршрутизатора D-Link и анализатора спектра Rohde&Schwarz FSC 3.



Рисунок 1 – Измерительный тракт поиска АЭП

В ходе эксперимента были проведены замеры Wi-Fi поля в тишине, и под звуковым давлением на маршрутизатор уровнем 95 дБ. Показания анализатора спектра были одинаковы, боковых акустических частот выявлено не было.

С целью повышения точности исследования был доработан измерительный тракт, добавив возможность контроля осциллограммы принимаемого сигнала, а также заменив широко полосный цифровой анализатор спектра на селективный аналоговый нановольтметр Unipan 233 с каскадом предусилителей и возможностью акустического контроля измерения с аудио выхода. Для того, чтобы осциллограф и нано вольтметр приняли высокочастотный сигнал, в тракт была встроена детекторная секция, которая на своём выходе выдаёт огибающую высокочастотного сигнала, подаваемого на вход. Таким образом был получен измерительный тракт, представленный на рисунке 2.



Рисунок 2 – Доработанный измерительный тракт

С помощью осциллографа удалось увидеть осциллограмму электромагнитного излучения Wi-Fi. Эксперимент проводился в двух режимах работы Wi-Fi беспроводного маршрутизатора: в режиме базовой станции без входящих подключений и в режиме передачи данных другому Wi-Fi устройству. Согласно стандарту, базовая станция Wi-Fi излучает информационные импульсы, в которых передаёт в эфир свои параметра для подключения к ней, такие, как частота, тип шифрования, имя и другие. Вся информация о станции передаётся в течении 125 микросекунд рисунок 3.

Циклы передачи повторяются каждые 100 миллисекунд (то есть с частотой 10 Гц) рисунок 4.

В время установки подключения и передачи информации, осциллограмма выглядит, как показано на рисунке 5.

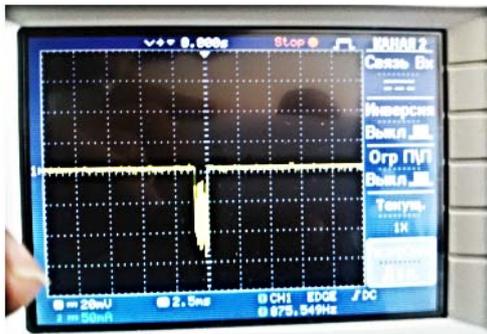


Рисунок 3 – Сигнал с информацией о базовой станции



Рисунок 4 – Периодические информативные сигналы



Рисунок 5 – Передача данных

Ни при первом ни при втором режимах не удалось выявить акустическую составляющую в электромагнитном сигнале с помощью селективного нановольтметра.

Это подтверждает теоретическое обоснование невозможности АЭП и модуляции генераторов Wi-Fi, а также наличие наводки НЧ сигнала в электромагнитном поле Wi-Fi.

### Заключение

В ходе исследования был сформирован и реализован в лабораторных условиях измерительный стенд, выполнены замеры сигналов поля Wi-Fi в тишине и под звуковым давлением на маршрутизатор. В итоге акустические составляющие на частотах выделить не удалось. Далее дополнив измерительный стенд оборудованием с целью повышения точности исследования вновь были выполнены измерения. С помощью осциллографа была получена осциллограмма излучения Wi-Fi. В результате обеих серий измерений не удалось выявить акустическую составляющую в электромагнитном сигнале. Соответственно влияние WI-FI сигнала на канал АЭП с целью искажения сигнала невозможен или существенно затруднен. Дальнейшие исследования возможно связать с применением прецизионного оборудования контроля электромагнитного поля.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вильдякин, Г. Ф. Физическая модель информации / Г. Ф. Вильдякин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2010. – Т. 1, № 3. – С. 46-56. – EDN MVJNIB.
2. Василенко, К. А. Wi-Fi сети: угрозы безопасности и технологии защиты / К. А. Василенко // Российская наука и образование сегодня: проблемы и перспективы. – 2019. – № 3(28). – С. 89-91. – EDN XCGTOD.
3. Загребин, А. В. Насколько безопасны беспроводные сети Wi-Fi? / А. В. Загребин // Аллея науки. – 2019. – Т. 1, № 10(37). – С. 852-855. – EDN FGGVVJ.
4. Лазарев, Д. А. Основы технологий Wi-Fi, её особенности и принципы работы / Д. А. Лазарев, Э. А. Хасанов // StudNet. – 2021. – Т. 4, № 7. – С. 140. – EDN EETYPL.

УДК 536.3

Пухов Алексей Александрович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Puhov Alexey Alexandrovich, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Новгородов Никита Александрович, канд. техн. наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Novgorodov Nikita Alexandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

Ткачёва Юлия Ильинична, канд. техн. наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tkacheva Julia Ilyinichna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

**ЧЁРНОЕ И БЕЛОЕ – СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕНЯЕМЫХ ЭМИССИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕЩЕСТВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУР В УСЛОВИЯХ ВЫРОЖДЕННОГО СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ**

**BLACK AND WHITE – A METHOD OF USING VARIABLE EMISSION CHARACTERISTICS OF MATTER TO CREATE A TEMPERATURE GRADIENT UNDER CONDITIONS OF A DEGENERATE SPECTRUM OF RADIATION OF THE EARTH'S ATMOSPHERE**

Аннотация. В данной статье рассмотрена возможность получения устойчивого градиента температур в условиях вырожденного спектра солнечного света после прохождения им атмосферы. Показано, что в этих условиях известные характеристики теплового равновесия тел при применении приближений абсолютно чёрного и белого тел видоизменяются, входя в значительную зависимость от спектральных эмиссионных свойств применяемых материалов, где их искусственное модифицирование позволяет создавать градиент температур за счёт изменения энтропии окружающей среды.

Abstract. This article discusses the possibility of obtaining a stable temperature gradient under conditions of a degenerate spectrum of sunlight after passing through the atmosphere. It is shown that under these conditions, the known characteristics of the thermal equilibrium of bodies when using approximations of absolutely black and white bodies are modified, becoming significantly dependent on the spectral emission properties of the materials used, where their artificial modification makes it possible to create a temperature gradient due to changes in the entropy of the environment.

Ключевые слова: радиационное охлаждение в атмосферных условиях.

Key words: radiative sky cooling.

Одной из наиболее серьёзных проблем в современной технике, является, несомненно, проблема эффективного преобразования одного вида энергии в другой. В общем случае большее число стадий преобразования энергии на пути к желанному ему виду, оборачивается большими потерями и, как следствие, более низкими эффективностями преобразования. При этом, поскольку большая часть первичной, то есть получаемой непосредственно и источника (Солнца, ископаемого топлива, геотермального ресурса) энергии представляет собой энергию тепловую, а форма конечной энергии почти всегда представляется электрической, то обозначенный выше вопрос, почти всегда, остаётся сфокусированным на преобразовании тепла в электроэнергию.

Тем не менее, на данный момент времени в сложившемся инженерном знании представление об идеальном исполнении теплового двигателя оканчивается на его схожести с циклом Карно, тем самым подразумевается, что эффективность, ровно и как

сам факт возможности преобразования тепловой энергии, сосредоточены на разности температур холодного и горячего источников. И хотя этот подход, безусловно, является верным, бездумное следование ему способно затенить для потенциального исследования достаточно широкую область тепловых процессов, где разность температур не является очевидным приводом для преобразования тепловой энергии.

Для того, чтобы понять, о чём идёт речь, рассмотрим следующую систему.

Пусть имеется пластина, половина которой изготовлена из абсолютно белого (в физическом смысле) материала, а вторая половина – из абсолютно чёрного, размещённая в некоторой области пространства, заполненной воздухом. При этом, стенки, ограничивающие выбранную область пространства, также изготовлены из абсолютно белого материала. В начальный момент времени, воздух нагрет до некоторой температуры, большей температуры пластины, а теплообмен всего выделенного пространства с окружающей средой отсутствует.

Очевидно, что, по закону излучения Кирхгофа, который гласит, что отношение излучательной способности любого тела к его поглощательной способности одинаково для всех тел при условии равновесности при данной температуре и не зависит от их формы, химического состава, из-за степени черноты одной части пластины равной 0, теплообмен излучением с окружающим воздухом будет отсутствовать. Поэтому, благодаря конвективному теплообмену, температура поверхности абсолютно белой стенки сравняется с температурой окружающего воздуха в установившемся режиме.

С другой стороны, для абсолютно чёрной части пластины, ситуация обратна, и всё падающее на неё излучение от разогретого воздуха должно поглощаться, равно как и сама она должна излучать электромагнитные волны в окружающее пространство. Если бы спектр излучения воздуха соответствовал спектру излучения этой пластины, то количество поступающей теплоты было бы равно количеству уходящей с поверхности стенки за счёт излучения при одинаковости температуры воздуха и пластины. Однако, это не так. Известно, что спектр поглощения-излучения для воздуха земной атмосферы по причине наличия полос поглощения-излучения входящих в его состав газов является прерывным и не соответствует спектру абсолютно чёрного тела (см. рисунок 1) [1].

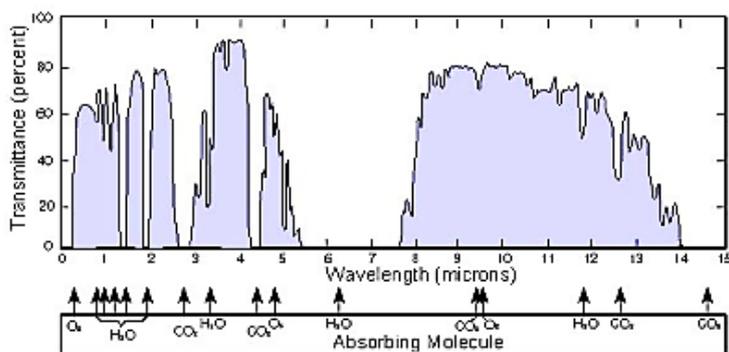


Рисунок 1 – Спектр пропускания атмосферного воздуха (усреднённый)

Тогда на чёрную часть пластины поступает определённый состав спектра теплового излучения (и полностью поглощается), а со стороны пластины происходит излучение, по спектру соответствующие абсолютно чёрному телу. В общем случае, в этой ситуации количество поступающей к пластине теплоты от воздуха не соответствует количеству уходящей, в результате чего температура поверхности чёрной пластины не равна температуре окружающего воздуха, а, значит, формируется градиент температур между абсолютно белой и абсолютно чёрной половиной пластины.

Дополним вышеуказанную ситуацию, заменив абсолютно чёрную половину пластины на таковую, состоящую из материала с сильно вырожденным спектром излучения, например, из кремниевых наночастиц, образец спектра пропускания (обратный по отношению к спектру поглощения) которых представлен на рисунке 2 ниже [2].

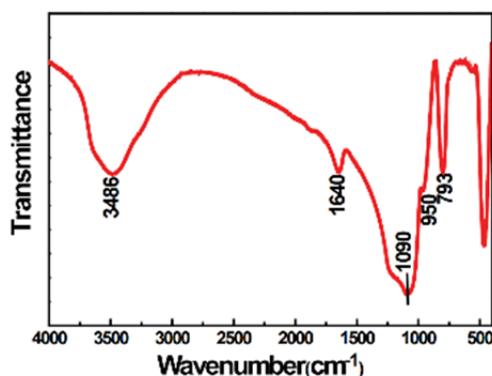


Рисунок 2 – Спектр пропускания кремниевых наночастиц с средним диаметром 12 нм

Если данный материал будет обладать высокими эмиссионными параметрами в тех областях спектра, которые представляют собой «окна» пропускания для атмосферного воздуха, то тепло от стенки пластины сможет беспрепятственно покидать поверхность, будучи не поглощённой атмосферным воздухом. Если, вдобавок, отражающие способности материала в области частот с высокой радиационной эмиссией атмосферного воздуха будут велики, то тепловое излучение его не сможет быть эффективно поглощённым поверхностью пластины. В итоге температура покрытой материалом с контролируемыми эмиссионными свойствами половины пластины окажется ниже, чем температура окружающей среды, что позволит создать устойчивый градиент температур между половинами пластины.

Данный градиент может быть использован для генерации электроэнергии с помощью эффекта Зеебека - термоэлектрическими преобразователями. Особенностью ситуации при этом будет являться отсутствие изначального градиента температур, или неоднородностей в окружающем пространстве.

При детальном рассмотрении предложенного способа создания градиента температур и последующей генерации энергии на его основе можно отметить, что предлагаемая конструкция производит энергию как бы «из ничего». Но это не является верным представлением. Более тщательный разбор показывает, что с течением времени при работе устройства в рассматриваемых условиях (замкнутость по объему и его изолированность) спектр присутствующего излучения меняется со смещением большей энергетической доли в область длинноволнового спектра, иными словами, энтропия внутри системы возрастает и именно за счёт её изменения и совершается генерация электрической энергии (т.е. работа). Таким образом, упомянутый механизм может являться своего рода «катализатором», ускоряющим естественное возрастание энтропии в системе, чем сильно напоминает функционирование живых систем.

Следует отметить, что в условиях наличия внешнего солнечного излучения, предварительно прошедшего через слой атмосферы, работоспособность устройства сомнительна. Причина этому кроется в идентичности спектра поглощения атмосферы, в случае идеального варианта исполнения устройства, спектру поглощения модифицированной половины пластины, что приводит к равенству поглощаемой мощности излучаемой.

Поэтому рассмотрим вариант исполнения, включающий термоэлектрический элемент, одна сторона которого покрыта тонким слоем вещества, обладающего большим значением коэффициента черноты, а вторая – покрытием с модифицированными эмиссионными свойствами, согласно которым, поглощательная способность его имеет преобладание в области инфракрасного спектра. Дополнительно, для предотвращения в целом негативного влияния конвективного теплообмена, окружим этот термоэлектрический элемент оболочкой из материала с близким к 1 коэффициентом черноты, создав во внутреннем пространстве вакуум. При размещении всей системы под солнечным светом, за счёт поглощения света, внешняя оболочка претерпит разогрев до некоторой равновесной температуры. Аналогичным образом, зачернённая поверхность термоэлек-

трического преобразователя также нагреется до температуры, близкой к температуре внешней оболочки. Иным образом же поведёт себя сторона с покрытием с модифицированными эмиссионными свойствами. Если пик эмиссии его будет располагаться в области, в которой мощность излучения от оболочки при её установившейся температуре незначительна, то большая часть падающего на покрытие излучения будет отражаться обратно в сторону оболочки. Вдобавок к этому, тепловое излучение с самой модифицированной поверхности термоэлектрического элемента сможет беспрепятственно покидать её, будучи затем поглощённой материалом оболочки (с малым переотражением). В результате этого, модифицированная поверхность будет обладать меньшей температурой, чем зачернённая, а градиент температур в термоэлектрическом элементе сможет быть преобразован в электроэнергию.

Таким образом, упомянутый ранее принцип создания градиента температур в условиях наличия электромагнитного излучения может быть применён в различных ситуациях, характеризующихся различностью его спектрального состава, что определяет широкий потенциал к применению, в особенности при рассмотрении в контексте возобновляемой энергетики.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. D. Rashkovetsky, F. Mauracher, M. Langer and M. Schmitt, "Wildfire Detection From Multisensor Satellite Imagery Using Deep Semantic Segmentation," in IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 14, pp. 7001-7016, 2021, doi: 10.1109/JSTARS.2021.3093625. keywords: {Instruments; Satellites; Sensors; Remote sensing; Clouds; Earth; Satellite broadcasting; Data fusion; deep learning; remote sensing; wildfire detection},
2. В М, Vinoda & Vinuth,. (2015). Photocatalytic Degradation of Toxic Methyl Red Dye Using Silica Nanoparticles Synthesized from Rice Husk Ash. Journal of Environmental & Analytical Toxicology. 05. 10.4172/2161-0525.1000336.

УДК 621.311.22

Пухов Алексей Александрович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Puhov Alexey Alexandrovich, graduate student of Komsomolsk-na-Amure State University

Новгородов Никита Александрович, канд. техн. наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Novgorodov Nikita Alexandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

Ткачёва Юлия Ильинична, канд. техн. наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tkacheva Julia Ilyinichna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **К ПРОБЛЕМЕ ЭФФЕКТИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ON THE PROBLEM OF EFFECTIVE COOLING OF RECYCLED WATER OF THERMAL POWER PLANTS**

Аннотация. В данной статье рассмотрена проблема формирования эффективной системы охлаждения оборотной воды тепловых электростанций в условиях невозможности создания проточной системы охлаждения. Показано, что в силу непреодолимых физических ограничений, неизбежно возникают проблемы, связанные с значительными затратами на создание или обслуживание систем охлаждения, что приводит к повыше-

нию конечной стоимости вырабатываемой тепловыми электростанциями электрической энергии. На основании анализа вклада различных видов теплообмена, представлена возможность путём целенаправленной модификации материала охлаждающих поверхностей добиться увеличения теплоотдачи, что, в теории, позволит сократить себестоимость генерируемой электроэнергии.

Abstract. This article discusses the problem of forming an effective cooling system for recycled water of thermal power plants in conditions where it is impossible to create a flow-through cooling system. It is shown that due to insurmountable physical limitations, problems inevitably arise associated with significant costs for the creation or maintenance of cooling systems, which leads to an increase in the final cost of electric energy generated by thermal power plants. Based on the analysis of the contribution of various types of heat transfer, it is possible to achieve an increase in heat transfer by purposefully modifying the material of cooling surfaces, which, in theory, will reduce the cost of generated electricity.

Ключевые слова: охлаждение оборотной воды, окно прозрачности атмосферы.

Key words: cooling of the circulating water, radiative sky cooling.

### **Введение**

Использование исчерпаемых энергетических ресурсов в виде ископаемых топлив в тепловых электрических станциях сопровождается одной неизменной проблемой. Исчерпаемость, ограниченность топлива, совместно с затратами на его добычу, транспортировку и последующую обработку, определяет конечную стоимость, а уже это – стоимость производимой с его помощью электроэнергии [1-3]. В связи с этим, повышение эффективности работы электростанции является в значительной мере персистирующим вопросом при рассмотрении конкретной конструкции электростанции.

### **Основная часть**

Одним из вариантов выбора конструкции, достаточно сильно влияющим на КПД тепловой электростанции (ТЭС), является выбор способа охлаждения оборотной воды, возникающий в условиях, когда проточное охлаждение невозможно по тем или иным причинам.

Выделяют два принципиально разных варианта, отличающихся принципами охлаждения:

- 1) Охлаждение за счёт испарения оборотной воды.
- 2) Радиаторное охлаждение воздухом.

Испарение за счёт испарения представлено следующими реализациями:

- Охлаждающие пруды. Контур циркуляции оборотной воды в этом случае замыкается на естественный или искусственно созданный водоём с площадью свободной поверхности достаточной для поддержания в нём температуры на необходимом для нормального функционирования системы охлаждения ТЭС. Однако, такой подход сопровождается необходимостью предварительной очистки воды, поступающей из озера на нужды охлаждения ТЭС от химического и механического мусора, неизбежно попадающего в охлаждающий пруд с течением времени.

- Брызгательные бассейны. Разбрызгивание оборотной воды позволяет формировать значительную площадь контакта её с окружающим воздухом за счёт образования мелких капель с большой удельной площадью поверхности, что уменьшает необходимую для создания достаточного охлаждения площадь устройства. Однако, образование мелких капель приводит двум основным негативным аспектам. Первый идентичен таковому в случае охлаждающих прудов, а второй связан с возникновением так называемого капельного уноса, когда часть достаточно мелких капель, образовавшихся в процессе разбрызгивания, оказываются подхваченными воздушными потоками уносятся за пределы площадей по сбору воды, тем самым приводя к потерям.

- Испарительные градирни. По своему существу испарительные градирни являются частичным аналогом брызгательного бассейна с дополнительно возникающим направленным движением потока воздуха в башне из-за градиента температур. Такая конструкция позволяет сократить занимаемые охлаждающими устройствами площади, однако приводит к большему капельному уносу оборотной воды.

Итого можно заявить, что наиболее существенным недостатком первого способа во всех его реализациях, является неизбежная потеря оборотной воды на испарение и капельный унос, которые необходимо постоянно восполнять. С учётом того, что для работы системы охлаждения ТЭС к оборотной воде предъявляются повышенные требования к химической и механической чистоте, потеря оборачивается дополнительными затратами на очистку и подготовку, что составляет отдельную смету расходов при работе ТЭС.

С другой стороны, радиаторное охлаждение за счёт разности температур окружающего воздуха и оборотной воды, при теоретически полном отсутствии её потерь, сопровождается невозможностью охлаждения до температур ниже, чем у окружающего воздуха (на деле – на несколько градусов выше), что приводит к снижению термодинамической эффективности цикла ТЭС при больших температурах воздуха в окружающей среде. Помимо этого, дополнительным негативным фактором является потенциально большая стоимость радиаторной градирни, так как необходимая для охлаждения площадь соприкосновения, в условиях испарительного подхода к охлаждению формирующаяся за счёт поверхности образующихся при распылении воды капель, в условиях радиаторной градирни создаётся искусственно системой труб и дополнительных элементов.

При рассмотрении радиаторных систем охлаждения (в том числе в случае принудительной циркуляции воздуха), можно выделить два основных вида теплообмена: конвективный и за счёт излучения. Если первый определяется, фактически, конкретной конструкцией радиаторов и режимами циркуляции воздуха, то второй в значительной степени зависит не только от конструкции, но и от окружающей среды.

Потери тепла за счёт излучения определяются разностью уходящего от тела излучения и поступающего на него из окружающей среды (за счёт переотражения или собственной эмиссии). Поскольку радиаторные системы охлаждения изготавливаются из твёрдых тел, их спектр излучения является по большей части непрерывным, из-за чего конкретный состав спектра зависит от коэффициента черноты (влияет на равновесную температуру) и текущей температуры поверхности. С другой стороны, газовая форма окружающей среды обеспечивает прерывность спектра излучения с наличием выраженных пиков от колебательных мод молекулярных связей в составляющих воздух газам.

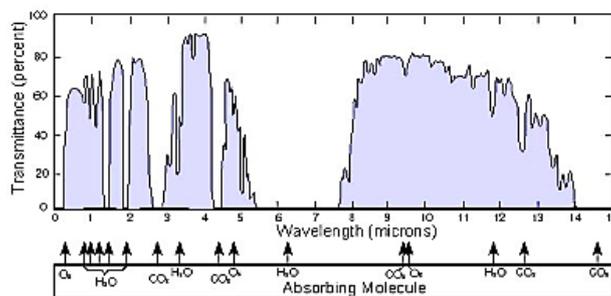


Рисунок 1 – Спектр пропускания атмосферного воздуха (усреднённый)

Это даёт возможность для создания такого покрытия, основная часть излучения которого сосредоточена на длинах волн, где наблюдается отсутствие поглощения атмосферой – как следствие при его применении для материала (в том числе в виде покрытия) радиаторов в системе охлаждения ТЭС будет отсутствовать переизлучение, что, очевидно, позволит добиться охлаждения до более низких температур, потенциально меньших, чем температура окружающего воздуха, в особенности ночью.

Существует два пути создания сплошных материалов с контролируемым спектром поглощения/излучения.

1) Химические красители в изолированных матрицах, где демпфирующее влияние окружающих молекул на молекулу красителя либо незначительно, либо наоборот способствует формированию нужного спектра.

2) Наночастицы контролируемого размера, осцилляции плазмонов в которых ограничены размерами наночастиц, вследствие чего их частотный спектр приобретает вырожденные черты.

#### **Заключение**

Несмотря на потенциальную возможность, данное направление всё ещё остаётся в значительной степени неисследованным, в особенности в условиях применения для охлаждения оборотной воды ТЭС. Однако, последние разработки в области получения наноматериалов дают многообещающие данные о возможности сокращения их стоимости для значений рентабельности повсеместного применения.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Фецов, С. С. О моделировании нестационарного охлаждения пористых саморазогревающихся объектов методом конечных объёмов / С. С. Фецов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2021. – № 5(53). – С. 52-54. – DOI 10.17084/20764359-2021-53-52. – EDN AXRRFC.
2. Романюк, В. П. Об улучшении энергетических показателей бытовых кондиционеров / В. П. Романюк // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2010. – Т. 1, № 1. – С. 19-20. – EDN MBHIXX.
3. Экспериментальное исследование преобразования энергии суточного перепада температур / В. А. Челухин, А. В. Васильев, Е. В. Абрамсон, З. А. Пьей // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 5(69). – С. 43-52. – DOI 10.17084/20764359-2023-69-43. – EDN NQFOQO.

УДК 621.314.21

Пухов Алексей Александрович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Puhov Alexey Alexandrovich, PhD student, Komsomolsk-na-Amure State University

Новгородов Никита Александрович, кандидат технических наук, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Novgorodov Nikita Alexandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ НА ВЕЛИЧИНУ ФАЗНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ Понижающего трансформатора EVALUATION OF THE EFFECT OF CHANGES IN THE LOAD POWER FACTOR ON THE MAGNITUDE OF PHASE OVERVOLTAGES OF THE STEP-DOWN TRANSFORMER**

Аннотация. В исследовании приведены результаты работы модели трансформаторной подстанции с одним понижающим трансформатором на активно-индуктивную нагрузку по трем фазам во время её отключения. На переходный процесс отключения нагрузки влияет множество факторов, одним из которых является изменение коэффициента мощности нагрузки сезонно в нормальных режимах работы оборудования или при аварийных отключениях. В данной работе проанализировано влияние изменения коэффициента нагрузки на возникающие перенапряжения по фазам понижающего трансформатора.

Abstract. The study presents the results of the operation of a transformer substation model with one step-down transformer for an active inductive load in three phases during its shutdown. The transient process of switching off the load is influenced by many factors, one of which is the change in the load power factor seasonally in normal operating modes of the equipment or during emergency shutdowns. In this paper, the influence of changes in the load factor on the emerging overvoltages in phases of a step-down transformer is analyzed.

Ключевые слова: коэффициент мощности нагрузки, трансформатор, перенапряжения.  
Key words: load power factor, transformer, overvoltages.

### **Введение**

В работе [4] были проанализированы различные электромеханические системы методами имитационного моделирования, а в источниках [1] и [5] была показана принципиальная возможность реализации реальных сложных электротехнических объектов в виде моделей программного пакета MatLab. Авторами была разработана модель и произведены расчеты, отображающие влияние различных параметров трехфазного понижающего трансформатора и его однофазных нагрузок на переходные процессы, происходящие в процессе отключения нагрузки с помощью выключателей различных видов. Одним из существенных факторов повышения энергоэффективности является увеличение коэффициента мощности нагрузки, который уменьшается вследствие наличия источников реактивной мощности в сети электроснабжения. Авторы статьи [3] описывают возможность регулирования коэффициента мощности за счет внедрения и регулирования в сети электроснабжения емкостной составляющей мощности, с помощью установки конденсаторов. Таким образом можно увеличить эффективность работы системы электроснабжения [2], но также изменение уровня реактивной мощности может негативно повлиять на коммутационные процессы при работе выключателей нагрузки снижая надежность их работы и срок эксплуатации. Целью данной работы является выявления зависимости величины перенапряжений от изменения коэффициента мощности нагрузки. По данной тематике написано две статьи, а основанием для исследований послужил анализ переходных процессов подключения модели понижающего трансформатора на однофазную нагрузку, изложенное в диссертационной работе одного из авторов данной статьи.

### **Основная часть**

Данное исследование в определенной степени является статистическим и анализирует большое количество данных (по 121-ой комбинации на каждый расчет). Сам расчет был произведен с помощью программного пакета MatLab, математический анализ полученных в ходе расчета значений фазных перенапряжений – с помощью программы Office Excel. В каждой из упомянутых комбинаций был зафиксирован момент времени ( $t_A$ ) отключения выключателя фазы А трансформатора, тогда как моменты отключения выключателей остальных двух фаз В и С сдвигались по времени относительно  $t_A$  с шагом в 1 мс от значения 100 до 110 мс. В результате, на каждой итерации работы программы модели получалась индивидуальная комбинация моментов отключения выключателей для рассмотрения максимального количества случаев проявления перенапряжения по фазам за малый интервал времени.

Исходя из теории максимальный уровень фазных перенапряжений возникает при увеличении разновременности отключения разных фаз выключателями нагрузки. Поэтому программой модели определялись среднеквадратичные значения роста фазного напряжения  $\Delta U$  при отключении активно-индуктивных однофазных нагрузок следующим образом. На выходе структурной схемы модели по каждой фазе трансформаторной подстанции был установлен блок сравнения сигналов (сумматор с одним отрицательным входом). На положительный вход данного блока подавался сигнал максимального броска фазного напряжения (среднеквадратичного значения) при отключении нагрузки от данной фазы, на отрицательный вход – сигнал установившегося средне-

квадратичного значения фазного напряжения в результате переходного процесса. С выхода блока сумматора снималось значение перенапряжения  $\Delta U$ . Затем данные значения складывались в программе Excel с выводом диаграммы суммарного значения перенапряжения по всем фазам понижающего трансформатора.

Все вышеперечисленные операции выполнялись при задании в качестве параметров каждой нагрузки её активной и индуктивной составляющих мощности (в Вт системы СИ). Для этого задавалось значение  $\cos\varphi$  – коэффициента мощности нагрузки в сети электроснабжения, согласно формуле:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}, \quad (1)$$

где  $P$  – активная составляющая мощности нагрузки, Вт;  $S$  – полная мощность нагрузки. Диапазон значений коэффициента мощности нагрузки согласно формуле (1) выбирался таким образом, чтобы значения соответствовали реальным, встречающимся в системе электроснабжения Хабаровского края и электрических сетях города Комсомольска-на-Амуре. В итоге были выбраны следующие значения коэффициента мощности нагрузки для задания в расчетную модель:  $\cos\varphi = 0,5; 0,6; 0,8$ .

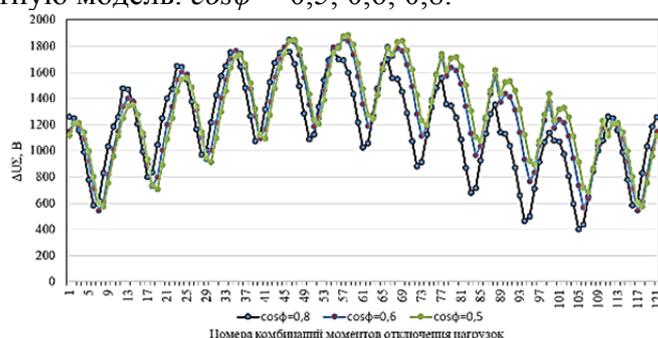


Рисунок 1 – Диаграмма значений суммарных фазных перенапряжений  $\Delta U_{\Sigma}$  трех фаз по номерам комбинаций моментов отключения нагрузок для трёх значений коэффициента мощности нагрузки  $\cos\varphi$

### Заключение

Из диаграмм рисунка 1 видно, что значение суммарного фазного перенапряжения периодически изменяется в зависимости от различных комбинаций момента отключения нагрузки от фазы понижающего трансформатора для всех случаев задания коэффициента мощности нагрузки (показаны цветом на рисунке 1). Примерно на половине длины рисунка 1 (по комбинациям примерно до 60-й включительно) диаграммы для разных коэффициентов нагрузки отличаются друг от друга в диапазоне (0-37) %. Тогда как во второй половине рисунка 1 различие в значениях перенапряжения диаграммы могут возрастать до 141 %. Что объясняется ростом разновременности отключения выключателей фаз нагрузки. Из диаграмм также видно, что самые большие значения перенапряжений в фазах понижающего трансформатора наблюдаются при самом минимальном значении коэффициента мощности нагрузки из выбранного диапазона  $\cos\varphi = 0,5$ . При дальнейших исследованиях этого параметра предполагается увеличить количество значений для большего подтверждения правильности результатов расчетов в построенной модели.

### Благодарности.

*Выражаем огромную благодарность, ныне покинувшему нас, нашему учителю М.С. Гринкругу, ваша помощь в работе бесценна.*

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Марченко Н.М. Моделирование компенсатора реактивной мощности в пакете MATLAB / Н.М. Марченко // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2022. - № 1 (57). - С. 24-34.

2. Марущенко С.Г., Ненюк В.В. Применение автономного источника электроснабжения для снижения пиковой нагрузки на электрическую сеть / С.Г. Марущенко, В.В. Ненюк // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2022. - № 3 (59). - С. 54-65.
3. Климаш В.С., Табаров Б.Д. Разработка конденсаторных установок и способа регулирования реактивной мощности в системах промышленного электроснабжения / В.С. Климаш, Б.Д. Табаров // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2022. - № 1 (57). - С. 7-14.
4. Иванов С.Н., Ким К.К., Просолович А.А., Хисматулин М.И. Анализ электромеханических систем методами имитационного моделирования / С.Н. Иванов, К.К. Ким, А.А. Просолович, М.И. Хисматулин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2021. - № 3 (51). - С. 29-38.
5. Марченко Н.М. Расчёт параметров модели и моделирование трёхфазных трансформаторов в MATLAB / Н.М. Марченко // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2020. - № 5 (45). - С. 53-63.

УДК 623.746-519

Ревякин Никита Алексеевич, курсант, ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России  
Revyakin Nikita Alekseevich, cadet, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

Лубенцов Александр Витальевич, кандидат географических наук, доцент, ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России

Lubentsov Alexander Vitalievich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

## **ИНТЕГРАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ТЕПЛОВИЗИОННЫМИ КАМЕРАМИ В СИСТЕМУ РЕАГИРОВАНИЯ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ INTEGRATION OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS WITH THERMAL IMAGING CAMERAS INTO AN EMERGENCY RESPONSE SYSTEM**

Аннотация. В данной статье рассматривается использование беспилотных авиационных систем (БАС) в чрезвычайных ситуациях для повышения оперативности и безопасности спасательных операций. Подчеркивается важность быстрой и точной реакции на опасные ситуации, где дроны с обычными и тепловизионными камерами могут сыграть ключевую роль. Их маневренность и компактный размер позволяют осуществлять поиск в труднодоступных местах и условиях с низкой видимостью. Статья также описывает конкретные применения дронов в различных ЧС, таких как пожары, наводнения и поиски пропавших лиц. Упоминается необходимость интеграции дронов в систему реагирования спецслужб, включая обучение операторов и совместные учения. Приведен пример комплекса от DJI, который используется МЧС для поиска пострадавших. В целом, использование БАС существенно снижает риски для жизни спасателей и повышает шансы на успешное завершение операций.

Abstract. This article discusses the use of unmanned aircraft systems (UAS) in emergency situations to improve the efficiency and safety of rescue operations. The importance of a quick and accurate response to dangerous situations is emphasized, where drones with conventional and thermal imaging cameras can play a key role. Their maneuverability and compact size make it possible to search in hard-to-reach places and conditions with low visibility. The article also describes the specific applications of drones in various emergencies, such as fires, floods and searches for missing persons. The need to integrate drones into the intelligence response system, including operator training and joint exercises, is mentioned. An ex-

ample of a complex from DJI, which is used by the Ministry of Emergency Situations to search for victims, is given. In general, the use of UAS significantly reduces the risks to the lives of rescuers and increases the chances of successful completion of operations.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, чрезвычайные ситуации, спасательная операция, тепловизионные камеры, поиск пропавших лиц, M300RTK, обучение операторов.

Key words: unmanned aircraft systems, emergencies, rescue operation, thermal imaging cameras, search for missing persons, M300RTK, operator training.

### **Введение**

В наше время с учетом огромного количества чрезвычайных ситуаций необходимость в эффективных и оперативных методах реагирования становится все более актуальной. Для того чтобы свести к минимуму риск жизни людей, нужна четкая и своевременная реакция на опасную ситуацию. Одним из перспективных направлений в этой области является использование беспилотных авиационных систем (БАС), в частности, небольших дронов.

Беспилотная авиационная система – это одно или несколько связанных между собой воздушных судов, которые не имеют на борту пилота и управляются либо дистанционно, либо с заданным курсом. В России активно занимаются разработкой и производством различных типов беспилотников и их элементов. Правительство России активно поддерживает развитие БАС, внедряя нормативные акты и программы, направленные на интеграцию беспилотников в гражданскую авиацию и единую систему предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. В данной статье будут рассмотрены параметры БАС, их применение и взаимодействие с спецслужбами и МЧС, [1-4].

### **Основная часть**

В целом использование БАС с обычными и тепловизионными камерами, позволяет эффективно действовать в условиях практически нулевой видимости и в труднодоступных местах, таких как болота и густые леса. Маневренность и небольшой размер беспилотника позволяют ему действовать в ситуациях и условиях, недоступных для пилотируемых вертолетов.

Крайне важна способность дронов быстро добираться до места происшествия, они могут быть развернуты в кратчайшие сроки. В условиях различных чрезвычайных ситуаций, когда время играет решающую роль, дрон может облететь территорию, собрать данные и передать их спецслужбам на земле, что позволяет принимать верные и оперативные решения. Из этого вытекает преимущество в способности охватывать большие площади за короткий промежуток времени. В темноте, наличии дыма или тумана, поиск обычными методами будет осложнен, дрон же при помощи установленных на него тепловизионных камер, способен обнаруживать тепло, исходящее от объектов, это существенно повышает шансы на успешное обнаружение (рисунок 1).



Рисунок 1 – Использование БАС при крупных пожарах

Использование дронов при ЧС снижает риск для жизни и здоровья спасателей и сотрудников спецслужб, так как проще отправить дрон в потенциально опасные зоны, такие как зоны обрушения, затопленные районы или участки с высоким уровнем токсичности.

Дроны можно применять во время пожаров для поиска горящих участков и источников огня, они помогают выявлять скрытые очаги возгорания, которые не видны невооруженным глазом, и помогают в оценке распространения огня.

Во время наводнений дроны позволяют быстро оценить масштабы наводнений, а также обнаруживать людей на крыше зданий или в других укрытиях. Кроме того, дроны могут помочь в оценке ущерба после природных катастроф, предоставляя визуальные данные для анализа ситуации и планирования восстановительных работ.

В ситуациях, когда необходимо найти заключенного, совершившего побег, дроны с тепловизионными камерами могут повысить эффективность поисковой операции. Дроны могут быстро облетать большие территории, выявляя подозрительные активности и при помощи современных идентификационных программ и алгоритмов распознавать скрывающихся людей.

Для интеграции дронов в систему реагирования спецслужб на чрезвычайные ситуации, нужно установление единого канала связи между операторами дронов и спецслужбами, разработка инструкций для различных ЧС, правильное планирование и распределение ролей среди спецслужб.

Так же крайне необходимо учитывать обучение операторов, совместные учения с участием спецслужб. Опытный оператор БАС или БПЛА – это профессионал широкого профиля, способный эффективно справляться с несколькими задачами одновременно благодаря внедрению автоматизированных технологий. А значит сокращается количество сотрудников необходимое для решения задачи, упрощается взаимодействие между ними.

Необходимость наличия у подразделений экстренных спецслужб комплексов БАС наряду с другим оборудованием, подтверждается доказанной эффективностью использования в поисковых и спасательных операциях.

Примером может стать комплекс от одной из самых известных компаний по разработке и производству беспилотных авиационных систем – DJI M300RTK, который используется в МЧС, рисунок 2.



Рисунок 2 – DJI Matrice 300 RTK с тепловизионной камерой Zenmuse XT S

Комплекс оснащен современной тепловизионной камерой Zenmuse XT S, которая благодаря высокой чувствительности способна обнаруживать цель в маленьком диапазоне температур.

В этой камере с завода присутствуют режимы поиска пропавших людей и поиска очагов пожаров.

#### **Заключение**

В заключение хочется сказать, что интеграция БАС и БПЛА в систему реагирования на чрезвычайные ситуации, ввиду роста производства, разнообразия и популярности дронов в современном мире, кажется реальной и необходимой задачей, ведь эти технологии не просто помогают спасать жизни повышая эффективность операций, они еще и обеспечивают более безопасные условия для спасателей, позволяя находится на

удалении от опасных зон. Нужно продолжать развитие БАС, инвестировать в обучение и технологии, налаживать и координировать сотрудничество между производителями БАС и государственными ведомствами в области чрезвычайных ситуаций. В конечном итоге это приведет к лучшему и своевременному реагированию на чрезвычайные ситуации, а значит и уменьшению жертв.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тарасов, Я. О. Квадрокоптеры: проектирование, конструирование и испытания / Я. О. Тарасов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 5. – С. 21-27. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-5-21-27. – EDN EJZMUT.
2. Привязные БПЛА DJI Matrice 300 M URL: <https://www.karneev.com/product/privyaznye-bpla/matrice-300-privyaznoy/> (Дата обращения: 18.09.2023)
3. Лубенцов А.В., Ярцева А.А. Системный анализ применения БПЛА привязного типа для мониторинга объекта и создания зоны связи / В сборнике: Карбышевские чтения. Наше дело правое - победа будет за нами! Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. RUS, 2023. С. 236-243. .
4. Лубенцов, А. В. Комплексные системы безопасности: системный анализ, архитектура, управление жизненным циклом / А.В. Лубенцов, А.В. Душкин, Воронеж: «Научная книга», 2022, 254с.

УДК 621.311.21

Ткачёва Нина Алексеевна, консультант отдела регулирования тарифов на электрическую, тепловую энергию и воду, комитета по ценам и тарифам Правительства Хабаровского края

Tkacheva Nina Alekseevna, Consultant of the Department for Regulation of Tariffs for Electric, Thermal Energy and Water, Committee on Prices and Tariffs of the Government of the Khabarovsk Territory

Усынин Макар Валерьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Usynin Makar Valerievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Соловьев Вячеслав Алексеевич, доктор техн. наук, профессор, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Soloviev Vyacheslav Alekseevich, Doctor of Engineering sciences, professor, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЛНОВОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОПЛАВКОМ ЧЕЧЕВИЦЕОБРАЗНОЙ ФОРМЫ И ОЦЕНКА ЕГО ПРЕИМУЩЕСТВ EFFICIENCY OF A WAVE GENERATOR WITH A LENTIL-SHAPED FLOAT AND ASSESSMENT OF ITS ADVANTAGES**

Аннотация. В статье рассмотрена возможность применения поплавка чечевицеобразной формы для повышения эффективности преобразования энергии волн в электроэнергию. Показано, что чечевицеобразная форма поплавка позволяет осуществлять своего рода симулирование поплавка с изменяемой геометрией, обладая при этом в значительной степени более простой конструкцией, за счёт чего возможно повышение эффективности преобразования энергии волн.

Abstract. The article considers the possibility of using a lenticular float to increase the efficiency of wave energy conversion into electrical energy. It is shown that the lenticular float shape allows for a kind of simulation of a float with variable geometry, while having a significantly simpler design, due to which it is possible to increase the efficiency of wave energy conversion.

Ключевые слова: электрическая энергия и мощность, волновой генератор, алгоритм, программное обеспечение, математическая модель.

Key words: electrical energy and power, wave generator, algorithm, software, mathematical model.

## Введение

Несмотря на развитие современных зелёных технологий, проблема стабильного обеспечения разнообразных потребителей электроэнергией, произведённой с минимальным влиянием на экологию окружающей среды, по-прежнему остаётся актуальной. Решение этой проблемы подстёгивается ещё и тем, что во многих населённых местах мира и нашей страны в частности электроснабжение с использованием традиционных источников оказывается экономически нерентабельным или вовсе невозможным, из-за чего потребность в поиске альтернативного источника стоит наиболее остро.

Многие из таких удалённых поселений имеют выход к морскому побережью, в связи с чем возникает возможность использования энергии волн для производства электроэнергии.

Однако, на сегодняшний день, технологии преобразования энергии волн в электроэнергию находятся в достаточно малоразвитом состоянии из-за большого количества факторов, которые могут оказывать влияние на эффективность работы генератора, а также их значительной изменчивости, так как параметры волн не являются постоянными с течением времени [1, 2].

При этом, ключевой деталью волнового генератора, в многом определяющего его эффективность, является поплавок [3, 4, 5]. В общем случае, каждым определённым параметром волны соответствует своя, оптимальная с точки зрения эффективности форма поплавка. Поэтому, при изменении параметров волны, для достижения наилучшей эффективности необходимо изменять форму поплавка. Из общей практики техники известно, что изменяемая геометрия рабочего механизма, несмотря на все положительные её качества, обладает тем важным недостатком, что повышенная сложность конструкции сопровождается повышенной же вероятностью отказа, а в условиях постоянного воздействия факторов морской среды эта проблема выходит на первый план.

Одним из промежуточных вариантов, обладающих частичными свойствами изменяемой геометрии, но, при этом, достаточной простой конструкцией, является поплавок чечевицеобразной формы. В данной статье рассмотрена математическая модель такого поплавка и на основе результатов моделирования его, получены результаты эффективности.

## Основная часть

Математическая модель и способ определения характеристик волнового генератора с чечевицеобразной формой поплавка (образованной двумя окружностями) найдены с помощью следующего алгоритма (рисунок 1).



Рисунок 1 – Алгоритм расчёта характеристик волнового поплавка

В качестве математической модели чечевицеобразного поплавка использовалось следующее дифференциальное уравнение:

$$\ddot{z} = \frac{kx_0 - mg - kz - \frac{NP_M B \sin\left(\frac{z}{R_M}\right)}{R_M} + \rho_B g S_{\text{осн}} \cdot (1 + \Delta) \cdot \frac{A \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot (R \cos^2 \beta + (R \sin \beta - d) \sin \beta) + \varphi\right) - \left(z + \frac{h_c}{2}\right)}{2}}{\left(m + \frac{J}{R_M^2}\right)} \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент жесткости пружины, Н/м;  $x_0$  – начальное растяжение пружины, м;  $m$  – масса, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $R$  – радиус основания, м;  $A$  – амплитуда волны, м;  $\omega$  – частота волны, рад/с;  $t$  – время, с;  $\lambda$  – длина волны, м;  $z$  – текущая координата изменения фазы волны, м;  $\varphi$  – начальная фаза колебаний, рад;  $S_{\text{осн}}$  – площадь основания поплавка, м<sup>2</sup>;  $h_c$  – высота поплавка, м;  $\rho_B$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $J$  – момент инерции, кг·м<sup>2</sup>;  $N$  – число витков на катушке генератора;  $P_M$  – магнитный момент, А·м<sup>2</sup>;  $B$  – магнитная индукция, Тл;  $R_M$  – радиус муфты, м;  $b$  – коэффициент погрешности;  $\Delta$  – коэффициент, показывающий уменьшение высоты волны после столкновения;  $\beta$  – угол поворота поплавка, относительно фронта волны.

Решая вышеописанное дифференциальное уравнение можно получить зависимости электрической мощности волнового генератора от различных параметров волн, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры набегающих на волновой генератор волн

Амплитуда (м)	Длина волны (м)	Угловая частота (рад/с)
0,2	12	2,1
0,4	22	1,7
0,6	30	1,4
0,8	36	1,1

Результаты расчета приведены на рисунках 2 и 3.

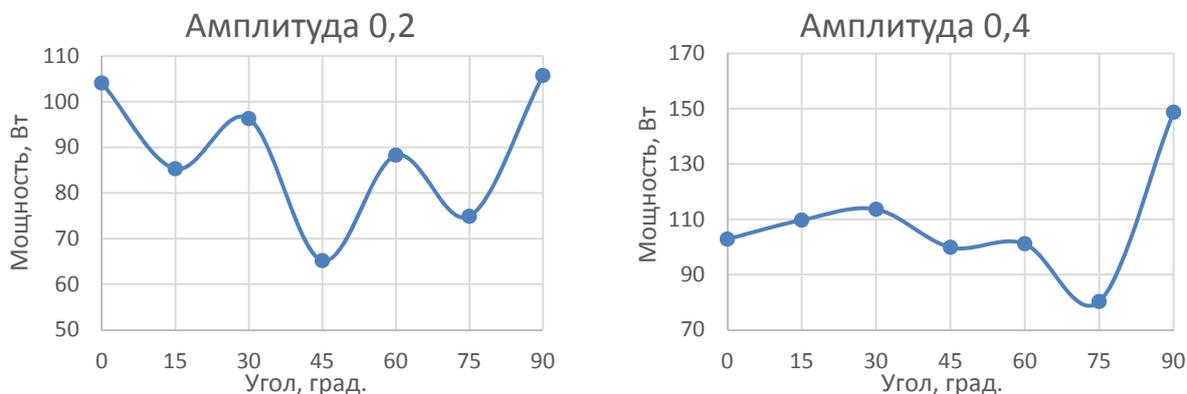


Рисунок 2 – Зависимость электрической мощности волнового генератора с чечевицеобразным поплавком от его угла установки относительно фронта волны

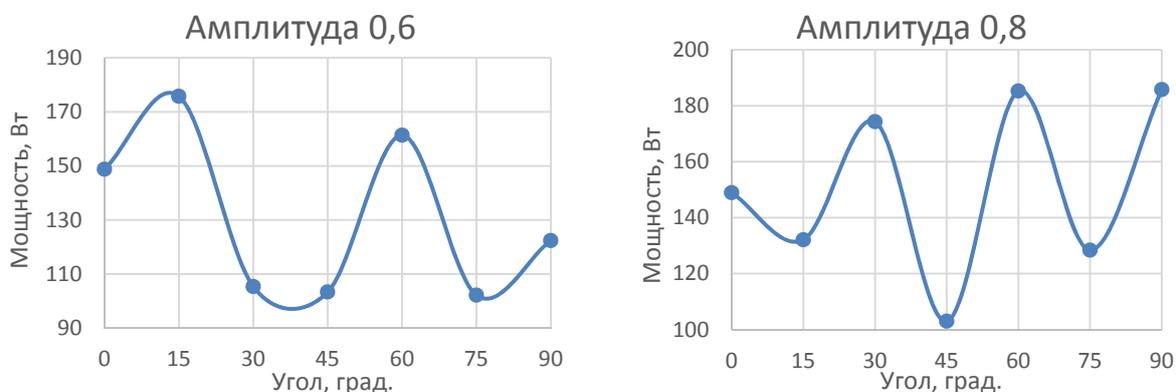


Рисунок 3 – Зависимость электрической мощности волнового генератора с чечевицеобразным поплавком от его угла установки относительно фронта волны

## **Заключение**

Результаты моделирования показывают, что поплавок чечевицеобразной формы позволяет подстраиваться под различные параметры волн, тем самым обеспечивая возможность получения более высокой эффективности преобразования энергии в случаях изменчивых параметров волн, что оправдывает его дальнейшее изучение.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024663953. Программа расчета мощности волнового генератора поплавоквого типа / М.С. Гринкруг, М.В. Усынин, Т.Н. Алексеевна. – Заявка №2024662368. Дата поступления 30 мая 2024 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 14 июня 2024 г.
2. Гринкруг, М. С., Ткачёва, Н. А. Оценка использования энергопотенциала морских волн в автономных системах электроснабжения. Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: Материалы 44-й научно-технической конференции студентов и аспирантов. г. Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», апрель 2014 г. – 672-673 с.
3. Гринкруг, М. С., Патлина О. В., Ткачева Н. А. Динамика волнового генератора с цилиндрическим поплавком на плоской волне / Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – № 14. – г. Саров, 2013. – 45-49 с.
4. Гринкруг, М. С., Ткачёва, Н. А. Экспериментальные исследования модели волнового генератора / Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – № 20. – г. Саров, 2015. – 45-49 с.
5. Ткачёва, Н. А. Динамика волнового генератора с поплавком некруглого сечения на плоской волне / Н.А. Ткачёва, М.С. Гринкруг, Н.Ю. Чайка. – Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – № 16-18, г. Саров, 2017. – 68-76 с.

УДК 53.043

Цыкунова Анна Андреевна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tsykunova Anna Andreevna, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University  
Сериков Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Serikov Alexander Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, КАК ФАКТОР ВЫБОРА МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ШТАМПОВОЧНЫХ ЗАГОТОВОК PHYSICAL PROPERTIES OF TITANIUM ALLOYS AS A FACTOR IN THE CHOICE OF MATERIAL FOR USE IN THE MANUFACTURE OF STAMPING BLANKS**

Аннотация. В статье рассмотрены характеристики некоторых титановых сплавов в контексте изготовления широкой номенклатуры технических изделий методами штамповки с предварительным разогревом заготовки. Показано, что сочетание превосходных физико-механических и химических свойств этих сплавов, таких как высокая удельная прочность, высокая коррозионная стойкость и стойкость к трещинообразованию, способность сохранять свои свойства в широких интервалах температур, оправдывает дополнительные стоимостные затраты и особенности технологического процесса производства деталей из титановых сплавов.

Abstract. The article considers the characteristics of some titanium alloys in the context of manufacturing a wide range of technical products by stamping methods with preheating of the workpiece. It is shown that the combination of excellent physical, mechanical and chemical properties of these alloys, such as high specific strength, high corrosion resistance and crack resistance, the

ability to maintain their properties over wide temperature ranges, justifies additional cost and features of the technological process of manufacturing parts from titanium alloys.

Ключевые слова: штамповка, титановый сплав, физико-химические характеристики.

Key words: stamping, titanium alloy, physical and chemical characteristics.

Текущая номенклатура выпускаемых технических изделий, обусловленная особыми условиями эксплуатации, предъявляет особые требования к физико-механическим свойствам применяемых для их изготовления материалов. Несмотря на значительный прогресс в материаловедении, титановые сплавы, благодаря множеству отличительных свойств, являются материалом выбора в тех случаях, когда требуется малый удельный вес, высокая коррозионная стойкость, прочность и упругость, а также способность работать при высоких температурах от 500 °С и выше. Помимо этого, из-за различных подходов к изготовлению деталей, к положительным сторонам титановых сплавов следует отнести также их пластичность и относительную простоту термообработки.

Однако, вышеуказанные положительные качества сопровождаются и некоторыми недостатками, например, сложная структура сплавов и высокая цена, от чего возникает потребность в определении условий, в которых применение титановых сплавов является оправданным.

Эти сплавы имеют хорошую пластичность, механическую прочность и хорошо переносят термическую обработку. Также в вопросе химического воздействия могут беспрепятственно взаимодействовать с другими металлами, такими как алюминий, никель, ниобий и другие.

Цель данной работы заключается в определении сферы применения титановых сплавов для широкой группы изделий. Область применения напрямую связана с индивидуальными физико-химическими характеристиками каждого сплава.

Титан используют не в чистом виде, а как сплав. Разновидностей титановых сплавов бесчисленное множество, в таблице 1 представлены наиболее широко применяемые сплавы и их характеристики.

Таблица 1 – Характеристики титановых сплавов

Тип	Сплав	Предел прочности, Мпа	Характеристики	Область применения
Деформируемые титановые сплавы	BT1-00, BT1-0, OT4-0, OT4-1, AT3.	До 700	Обладают высокой пластичностью, как в горячем, так и в холодном состоянии, в качестве примера из них получают: фольгу, проволоку, нить, листы, плиты, трубы и многое другое.	Авиационная, космическая, криогенная техника, химическая промышленность
Титановые сплавы средней прочности	BT5, BT5-1, BT20, OT4, ПТЗВ, BT6, BT6С, BT14.	750-1000	Обладают хорошей прочностью и пластичностью как в горячем, так и в холодном состояниях. Из них производят – трубы, листы, ленту, поковки. Если сравнивать по температурному режиму, то температура выше на 50-200°С в отличии от сплавов невысокой прочности.	Машиностроение, упаковочные линии, легкая и химическая промышленность
Высокопрочные титановые сплавы	BT6, BT6С, BT14, BT3-1	Более 1000	Высокопрочные сплавы – самые надежные и износостойкие сплавы, получаемые за счет упрочняющей термообработки, из которых производят прутки, листы, плиты, различные профили.	Космическая, авиационная и судоходная отрасли

Все эти сплавы относятся к группе трудно деформируемых материалов, поэтому процесс штамповки требует предварительный нагрев таких материалов.

Штамповка представляет собой процесс изменения формы и размера изделий под действием давления, с использованием пресса. Такие способы штамповки, в основном используются в различных видах промышленности: авиационной, автомобильной и кораблестроительной, а также при изготовлении бытового оборудования.

Рабочим инструментом является штамп, который находится на прессе. Штамповка бывает горячая и холодная, это зависит от использования специального оборудования.

Холодная штамповка осуществляется под действием большого давления, что приводит к изменению форм и размеров, возникновению напряжённых состояний. Горячая штамповка производится в нагретом состоянии и приводит к изменению конфигурации и размеров детали. Такая штамповка дает возможность менять геометрические параметры изделий. Штамповка из титана отличается от штамповки других металлических заготовок, тем, что имеет меньшую усадку, то есть при обработке титана нельзя использовать штампы, предназначенные для стальных форм. Дополнительно, перед штамповкой титан обжимают и предварительно подогревают до 900 °С. Это дает возможность обеспечить хорошее заполнение штампов. Нагрев бывает косвенным и прямым. При косвенном, нагрев происходит при использовании специальных нагревательных устройств, а при прямом, электрический ток напрямую проходит через деталь вызывает разогрев и выделение тепла. С точки зрения физики электронагрев деталей можно проводить двумя способами, либо путём непосредственного пропускания тока, либо индукционно, с помощью токов наведённых [2].

Сам нагрев основан на тепловом законе Джоуля-Ленца [2]:

$$Q = I_d^2 \cdot R \cdot t, \quad (1)$$

где  $I_d$  – действующее значения тока, А;  $R$  – сопротивление проводника, Ом;  $t$  – время нагрева, с.

В качестве рассматриваемой системы была спроектирована система электро-механического нагрева титановой заготовки. Система включала в себя: трансформатор, частотно-управляемый асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, гибкие токоподводы, шинопроводы, пирометр и контактный аппарат [3]. Заготовка разогревалась до необходимой температуры, в результате того, что через контактные аппараты проходил по заготовке ток. В результате этого она становилась более пластичной, что позволило проводить процесс штамповки. Штамповка происходит в автоматическом режиме.

Рассмотрение различных чистых металлов, применяемые в производстве и промышленности, приводит к таблице 2, где приведены их основные физические свойства [4].

Таблица 2 – Физические свойства металлов

Наименование металла	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура плавления, °С	Теплопроводность Вт/м*К	Удельное электрическое сопротивление, нОм*м	Модуль упругости, ГПа
Алюминий	2698	660	238	26,5	70,6
Титан	4540	1665	15,5	420	103
Железо	7874	1535	72,4	97,1	200

Если сравнивать свойства теплопроводности титана с железом и алюминием, то из таблицы 2 следует, что по отношению к железу она меньше в 5 раз, а к алюминию в 15 раз. Кроме того, удельное сопротивление титана значительно больше, чем у железа и алюминия (таблица 2).

Малая теплопроводность и упругость титана ограничивает скорость нагрева заготовки, что дает возможность выдержать перепады температур, тем самым предотвращая появление трещин.

У титана низкая хладноломкость это означает, что он почти не крошится и не ломается при низких и ультранизких температурах [5]. При криогенных температурах сплавы титана имеют более высокую удельную прочность по сравнению с другими металлами (рисунок 1).

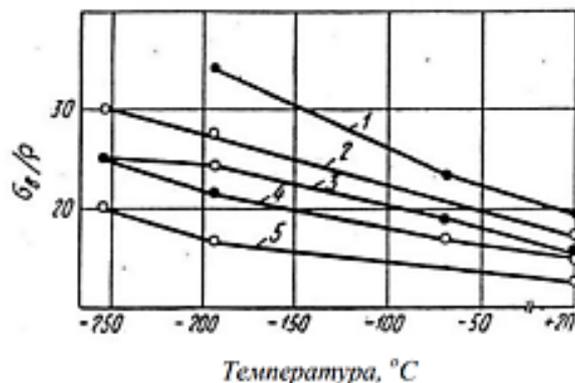


Рисунок 1 – Удельная прочность различных материалов при низких температурах:  
1 – VT6С, VT14; 2 – VT15-1; 3 – СН2А; 4 – Д16; 5 – X18Н9Т

Именно из-за таких температурных особенностей титановые сплавы чаще применяют для изготовления деталей самолетов, ракет и космической техники, так как с понижением температуры прочностные свойства сплавов увеличиваются, до полутора раз при температурах близких к  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и в два раза при  $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при сравнении с прочностью комнатной температуры.

Таким образом, можно заключить, что титановые сплавы при сравнении с другими возможными материалами обладают несравненно превосходящими свойствами там, где необходимо сочетание высокой удельной прочности, тугоплавкости, стойкости к коррозии и трещинообразованию при криогенных температурах.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Цыкунова, А. А. Электротехническая система нагрева металлических заготовок перед штамповкой / А. А. Цыкунова, А. В. Сериков // Электропривод на транспорте и в промышленности : материалы III Всероссийской научно-практической конференции : посвящается 60-летию кафедры «Электротехника, электроника и электромеханика», Хабаровск, 19–20 октября 2023 года. – Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 62-67.
2. Трофимова Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Таисия Ивановна Трофимова. – 11-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 560 с
3. Цыкунова, А. А. Электромеханическая система натяжения заготовки перед штамповкой / А. А. Цыкунова, А. В. Сериков // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 293-296.
4. Илларионов, А.Г. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие/ А.Г. Илларионов, А.А. Попов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 137 с.
5. Колачев Б. А. Механические свойства титана и его сплавов / Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, А. А. Буханова. М.: Metallurgia, 1974. 544 с.

УДК 536.2

Чепурнова Елена Константиновна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Chepurnova Elena Konstantinovna, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Андрианов Иван Константинович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Andrianov Ivan Konstantinovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ТУРБИНОЙ ЛОПАТКЕ С ПРОДОЛЬНОМ ОХЛАЖДЕНИЕМ FINITE ELEMENT MODELING OF HEAT TRANSFER IN TURBINE BLADES WITH LONGITUDINAL COOLING SCHEME**

**Аннотация.** Исследование посвящено вопросу конечно-элементного моделирования теплопереноса в турбинной лопатке оболочечного типа, подвергающейся воздействию высокотемпературной газовой среды, с системой внутреннего продольного охлаждения. Проведено качественное исследование теплового состояния турбинной лопатки, выявлена наиболее теплонагруженная область входной кромки периферийного сечения пера лопатки.

**Abstract.** The study is devoted to the issue of finite element modeling of heat transfer in a shell-type turbine blade exposed to a high-temperature gaseous medium with an internal longitudinal cooling system. A qualitative study of the thermal state of the turbine blade was carried out, the most heat-loaded area of the inlet edge of the peripheral section of the blade feather was revealed.

**Ключевые слова:** турбинная лопатка, внутреннее охлаждение, теплоперенос.

**Key words:** turbine blade, internal cooling, heat transfer.

### **Введение**

Эффективное охлаждение турбинных лопаток имеет важное значение для обеспечения исправной работы газотурбинного двигателя, что особенно актуально для турбомашин авиационного назначения. Сегодня предлагаются различные подходы для интенсификации теплоотвода в системах внутреннего охлаждения турбинных лопаток [1,2]. В процессе высокотемпературного и силового нагружений в теле турбинной лопатки могут развиваться усталостные трещины, соответственно актуальными представляются вопросы уменьшения тепловой нагрузки на турбинные лопатки и раннего диагностирования трещин. Раскрытие и развитие трещин, имеющих в теле турбинных лопаток, прежде всего, обусловлено действием центробежных растягивающих сил в процессе вращения [3,4]. Для решения проблемы раннего диагностирования повреждений в исследованиях [5-11] была предложена система обнаружения трещин в условиях нестационарности и разработаны методы ее оптимизации. Для эффективной работы данной системы важным представляется исследование проблемы теплопереноса в теле турбинной лопатки. В рамках данной работы требовалось провести качественное исследование теплового состояния турбинной лопатки, подвергаемой высокотемпературному воздействию газовой среды, при продольной схеме внутреннего охлаждения.

### **Основная часть**

Геометрическая и конечно-элементная модели тела турбинной лопатки оболочечного типа были построены в программном комплексе Ansys. При построении конечно-элементной сетки были использованы 6192 узла и 969 элементов (рисунок 1). При проведении конечно-элементного расчета задавалось распределение коэффициентов теплоотдачи и нагревающей газовой среды на наружной поверхности оболочки ло-

патки. Теплоотдача со стороны нагревающего газового потока принимала наиболее значение в области входной кромки и далее уменьшалась вдоль профиля спинки и корытца лопатки. Принимается, что охлаждающая газовая среда движется в радиальном направлении от корневого сечения к периферийному. В качестве материала тела лопатки задавалась сталь. По результатам численного расчета получено распределение температур на граничных поверхностях и по толщине тела лопатки согласно данным на рисунках 2, 3.

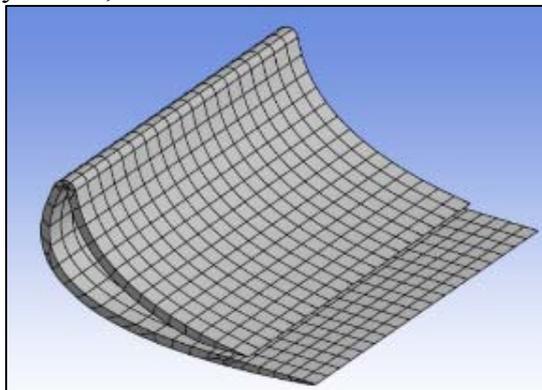


Рисунок 1 – Конечно-элементная сетка геометрии турбинной лопатки

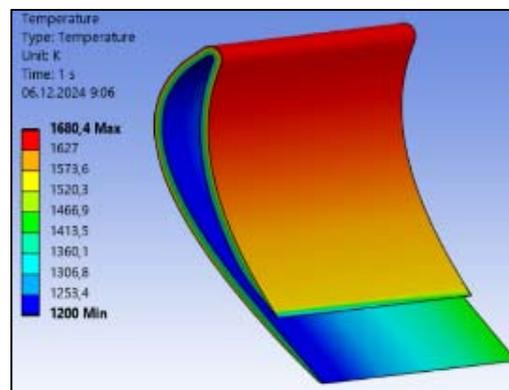


Рисунок 2 – Температурное поле (K) на граничных поверхностях модели турбинной лопатки

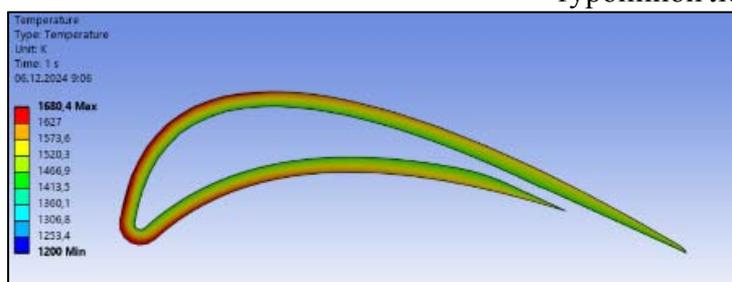


Рисунок 3 – Изменение температуры (K) по толщине стенки турбинной лопатки в области периферийного сечения

### Заключение

Согласно результатам расчета, при заданной схеме продольного охлаждения и заданном распределении теплоподвода наиболее термонагруженной является область входной кромки периферийного сечения пера лопатки. Повышение теплового состояния в данной области тела лопатки приводит к снижению показателя длительной прочности, что с одной стороны требует применения методов интенсификации охлаждения в данной зоне. Однако учитывая, что при действии центробежных сил растягивающие напряжения в данной области значительно меньше, чем в корневом и срединном сечениях, данное повышение может являться обоснованным. Вопрос выбора оптимальных параметров охлаждения с минимальными затратами на расход охлаждающей среды при удовлетворении требований длительной прочности требует дополнительного исследования.

**Благодарности.** Научное исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10114 «Разработка системы диагностирования повреждений турбинных лопаток и способа оптимизации теплоотвода в условиях термической усталости» (<https://rscf.ru/project/22-79-10114/>)

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов, С. Н. Интенсификация струйного охлаждения входной кромки турбинной лопатки при помощи полусферических выступов / С. Н. Иванов, А. В. Щукин, А. В.

Ильинков // Труды Шестой Российской национальной конференции по теплообмену, Москва, 27–31 октября 2014 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2014. – С. 1065-1068. – EDN VDJDHB.

2. Интенсификация теплообмена при комбинированном охлаждении входной кромки турбинной лопатки / А. В. Щукин, А. В. Ильинков, С. Г. Дезидерьев, С. Н. Иванов // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2013. – № 4. – С. 47-50. – EDN SPWQHB.

3. Андрианов, И. К. Влияние примесей жаропрочных никелевых сплавов, используемых в качестве материалов лопаток турбин, на процесс раскрытия трещин отрыва / И. К. Андрианов, К. А. Палков, Е. К. Чепурнова // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 1(65). – С. 4-8. – DOI 10.17084/20764359-2023-65-4. – EDN NYQYPT.

4. Andrianov, I. K. Model for Calculating Stress Intensity Factors for an Inclined Crack at the Leading Edge of a Gas Turbine Engine Blade Under the Influence of Centrifugal Forces / I. K. Andrianov, E. K. Chepurnova // International Journal of Mechanics. – 2024. – Vol. 18. – P. 9-16. – DOI 10.46300/9104.2024.18.2. – EDN SHFUQW.

5. Гринкруг, М. С. Разработка подхода к обнаружению трещин в лопатках авиационных газотурбинных двигателей на рабочих режимах / М. С. Гринкруг, И. К. Андрианов, М. Кара Балли // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. – 2024. – № 1(148). – С. 4-20. – EDN AOTTEO.

6. Гринкруг, М. С. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611350 Российская Федерация. Программа вычисления необходимого количества вещества для размещения в тонкостенных капсулах при создании системы обнаружения трещин в лопатках работающих газотурбинных двигателей : № 2023610220 : заявл. 10.01.2023 : опубли. 19.01.2023 / М. С. Гринкруг, Б. М. Кара, Н. А. Новгородов, Ю. И. Ткачева ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».

7. Andrianov, I. K. Optimal distribution of capsules with active substance for the crack detection system in a turbine blade body / I. K. Andrianov, E. K. Chepurnova // CIS Iron and Steel Review. – 2023. – Vol. 26. – P. 98-104. – DOI 10.17580/cisisr.2023.02.16. – EDN H1WMBX.

8. Андрианов, И. К. Оценка предельного давления и геометрии капсул в системе обнаружения трещин лопаток газотурбинного двигателя в условиях нестационарности и температурной неравномерности / И. К. Андрианов, Е. К. Чепурнова // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 9. – С. 725-730. – DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-9-725-730. – EDN HMDPKG.

9. Andrianov, I. K. Optimizing Crack Detection in Gas Turbine Blades Using Implanted Capsules of Ionizing Gas in Nonsteady Operation at Nonuniform Temperature / I. K. Andrianov, E. K. Chepurnova // Russian Engineering Research. – 2023. – Vol. 43, No. 11. – P. 1361-1366. – DOI 10.3103/s1068798x23110035. – EDN WRDEAK.

10. Андрианов, И. К. Математическая модель условной оптимизации давления в системе обнаружения трещин лопаток газовых турбин / И. К. Андрианов, Е. К. Чепурнова // Математическое моделирование и численные методы. – 2024. – № 2(42). – С. 3-16. – DOI 10.18698/2309-3684-2024-2-316. – EDN WBHIZQ.

11. Andrianov, I. K. Limit state analysis of the thin-walled shell using a forming limit diagram and finite element modeling / I. K. Andrianov, S. I. Feoktistov, E. K. Chepurnova // Journal of Physics: Conference Series. – 2023. – Vol. 2573, No. 1. – P. 012041. – DOI 10.1088/1742-6596/2573/1/012041. – EDN KFEQXN.

УДК 004.4

Шадрина Анжелика Сергеевна, студент, ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России  
Shadrina Anzhelika Sergeevna, student, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

Лубенцов Александр Витальевич, кандидат географических наук, доцент, Воронежский институт ФСИН России

Lubentsov Alexander Vitalievich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОМЕТРИИ ВЕН РУКИ В СКУД ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF PERSONAL IDENTIFICATION METHODS USING ARM VEIN BIOMETRICS IN CONTROL AND ACCESS MANAGEMENT SYSTEMS**

Аннотация. В статье представлен анализ и оптимизация методов идентификации личности с использованием биометрии вен рук в системах контроля и управления доступом. С учетом растущей потребности в надежных и безопасных решениях для идентификации пользователей, акцентируется внимание на уникальности венозных узоров, которые обеспечивают высокую степень точности и надежности распознавания. Обсуждаются основные подходы к идентификации, такие как оптические, электромагнитные и термографические методы, а также их преимущества и недостатки. В работе также анализируются аспекты безопасности, надежности и удобства использования биометрии вен, а также предлагаются стратегии оптимизации существующих технологий для повышения эффективности СКУД.

Abstract. The article presents the analysis and optimization of personal identification methods using hand vein biometrics in access control and management systems. Given the growing need for reliable and secure solutions for user identification, attention is focused on the uniqueness of venous patterns, which provide a high degree of accuracy and reliability of recognition. The main approaches to identification, such as optical, electromagnetic and thermographic methods, are discussed, as well as their advantages and disadvantages. The work also analyzes aspects of the safety, reliability and ease of use of vein biometrics, and also proposes strategies for optimizing existing technologies to improve the efficiency of access control systems.

Ключевые слова: биометрия, оптимизация, система контроля и управления доступа, безопасность, анализ.

Key words: biometrics, optimization, access control and management system, security, analysis.

### **Введение**

Современные системы контроля и управления доступа (СКУД) становятся все более важными в различных сферах, включая корпоративные офисы, банковские учреждения, аэропорты и другие объекты с высоким уровнем безопасности. Они представляют собой комплексные решения, которые направлены на защиту людей, имущества и конфиденциальной информации. Развитие технологий и стремление к улучшению безопасности приводят к тому, что СКУД часто становятся неотъемлемой частью общей инфраструктуры управления безопасностью.

Одним из наиболее перспективных направлений в этой области является использование биометрических данных для идентификации личности. В частности, биометрия вен рук представляет собой уникальный рисунок вен, который не подвержен изменениям, как, например, отпечатки пальцев или черты лица [1-2].

Целью данной работы заключается в комплексном анализе и оптимизации методов идентификации личности по биометрии вен рук с акцентом на повышение их эффективности, точности и безопасности.

Результатом проведенного анализа и оптимизации является создание более эффективной и надежной системы контроля доступа, которая будет сочетать в себе передовые технологии и подходы.

### **Основная часть**

Данный метод обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными способами идентификации, такими как пароли или карты доступа.

Преимущества биометрии вен рук:

Первым преимуществом является уникальность. Паттерны вен уникальны для каждого человека и не меняются на протяжении жизни, что делает их надежным способом идентификации.

Вторым преимуществом является сопротивляемость подделке. В отличие от отпечатков пальцев или фотографий, которые можно подделать, биометрия вен рук требует наличие живого организма для успешной идентификации.

Третьим преимуществом является удобство использования. Процедура сканирования вен рук проста и быстра, что позволяет минимизировать время ожидания при входе в защищённые зоны.

И последним, четвёртым, преимуществом является безопасность. Данные о венах не могут быть легко украдены или скомпрометированы, что повышает общий уровень безопасности системы.

Таким образом, данные преимущества открывают возможности для использования различных подходов к точной идентификации по биометрии вен рук.

Существует множество подходов для точной идентификации по биометрии вен рук. Но мы в данной статье назовём 3 из них. Оптический метод, электромагнитный метод и термографический метод.

При оптическом методе используется инфракрасное освещение для изображения вен. Этот метод основан на различии в поглощении света между кровью и окружающими тканями.

При электромагнитном методе измеряют изменения в электрическом поле, вызванные присутствием крови в венах. Данный метод является менее чувствительным к внешним условиям, но при этом он требует более сложного оборудования.

При термографическом методе используют тепловые камеры для обнаружения тепла, выделяемого кровью в венах. Метод может быть полезен в условиях низкой видимости.

Предлагаю рассмотреть оптимизацию методов идентификации, описанных выше, с акцентом на повышение их эффективности и точности.

В первую очередь, качество сканирования вен представлена собой критически важный аспект успешного распознавания. Высокое разрешение изображений, получаемых с помощью современных сенсоров, позволяет более точно захватывать детали венозного рисунка, что в свою очередь способствует улучшению точности дальнейшего распознавания. Совершенствование технологий обработки изображений, таких как применение алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта, помогает устранять шумы и искажения, что положительно скажется на конечных результатах идентификации.

Далее следует обратить внимание на алгоритмы обработки данных, которые играют ключевую роль в эффективности систем идентификации. Разработка и внедрение более продвинутых алгоритмов для анализа и сравнения изображений вен помогают значительно повысить скорость идентификации, а также её точность. Например, использование глубинных нейронных сетей и методов сопоставления по специфическим

характеристикам может улучшить результаты, особенно в сложных ситуациях, когда качество изображения может быть скомпрометировано.

Интеграция с другими биометрическими системами – ещё один важный аспект, который следует учитывать. Совмещение технологий распознавания вен с другими биометрическими методами, такими как отпечатки пальцев или распознавание лиц, не только усиливает общую надёжность идентификации, но и создаёт многослойную защиту, которая позволяет минимизировать риск несанкционированного доступа. Это также способствует созданию более гибких и эффективных СКУД, способных адаптироваться к различным требованиям и сценария использования.

Обучение пользователей – ещё один ключевой элемент, который часто недооценивается при внедрении таких технологий. Надлежащее обучение сотрудников правильному использованию системы позволяет значительно снизить количество ошибок при идентификации, а также повысить общую производительность и эффективность работы СКУД. Создаёт понятных и простых инструкций, а также проведение тренингов по использованию новых технологий поможет пользователям быстрее адаптироваться к новым методам работы.

Наконец, системы идентификации должны быть адаптированы к различным условиям эксплуатации, включая факторы, такие как освещение и температура. Обеспечение стабильности работы системы в любых ситуациях требует учёта этих аспектов на этапе проектирования и внедрения. Использование адаптивных алгоритмов, которые могут корректировать параметры сканирования в зависимости от внешних условий, позволяет достичь высокой надёжности и точности распознавания, что является основным приоритетом для современных систем идентификации.

### **Заключение**

Таким образом, повышение эффективности и точности систем идентификации по биометрии вен рук – многоаспектная задача, которая требует комплексного подхода, включающего как технические, так и организационные меры.

Использование биометрии вен рук в СКУД представляет собой перспективное направление, которое сочетает в себе высокую степень безопасности и удобства. Однако для достижения максимальной эффективности необходимо постоянно оптимизировать методы идентификации, улучшать качество сканирования и разрабатывать новые алгоритмы обработки данных. Внедрение таких технологий может существенно повысить уровень защиты объектов и обеспечить надёжный контроль доступа к важным ресурсам.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Попов, А. В. Биометрические типы идентификаторов в современных системах контроля и управления доступом / А. В. Попов // Теория и практика современной науки: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. В 2 ч., Пенза, 25 июня 2022 года. Том 1. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2022. – С. 107-111. – EDN PLNBXJ.
2. Патент № 2761776 С1 Российская Федерация, МПК G06K 9/66. Способ опознавания личности по рисунку вен ладони: № 2020133888: заявл. 14.10.2020: опубл. 13.12.2021 / В. А. Частикова, А. В. Власенко, С. А. Жерлицын, Я. И. Воля ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный технологический университет". – EDN VI FGWS.

УДК 656.61

Шамина Александра Андреевна, студент, ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России

Shamina Alexandra Andreevna, student, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

Лубенцов Александр Витальевич, кандидат географических наук, доцент, Воронежский институт ФСИН России

Lubentsov Alexander Vitalievich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

## **ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАЙН-АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ И УЛУЧШЕНИЯ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ С ФУНКЦИЕЙ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ APPLICATION OF SPLINE APPROXIMATION TO OPTIMIZING AND IMPROVING THE PERFORMANCE OF VIDEO SURVEILLANCE DEVICES**

Аннотация. В данной работе рассматриваются последние инновации в сфере видеонаблюдения. Также рассматривается возможность применения сплайн-аппроксимации для оптимизации работы стационарных видеокамер и процессов обработки информации. Изучается вопрос необходимости улучшения определенных функций устройств видеонаблюдения для усиления эффективности работы. Рассматривается вариант применения сплайн-аппроксимации для анализа и передачи информации с летательных аппаратов как альтернатива современным методам решений медленного обмена данными между передатчиком и приемным устройством.

Abstract. This paper discusses the latest innovations in video surveillance. It also examines the possibility of using spline approximation to optimize the operation of fixed video cameras and information processing. The issue of the need to improve certain functions of video surveillance devices to increase their efficiency is studied. The option of using spline approximation for analyzing and transmitting information from aircraft is considered as an alternative to modern methods for solving slow data exchange between the transmitter and the receiver.

Ключевые слова: сплайн, аппроксимация, видеонаблюдение, оптимизация работы, совокупность задач.

Key words: spline, approximation, video surveillance, work optimization, set of tasks.

### **Введение**

Последние годы вся технологическая индустрия получила стремительный рывок вперед. Таким образом в начале 20го века были впервые применены простейшие IP-камеры, а к настоящему времени IP-камеры стали не только популярны для организации охраны различных объектов, но и сравнялись по цене с аналоговыми видеокамерами с аналогичным или даже превосходящим набором функций. Если раньше практически единственными основными функциями видеокамеры, как IP, так и аналоговой, было проецирование изображения на матрицу и передача данных на видеорегистратор для дальнейшей обработки, сейчас производители стараются поместить в камеру большую часть процесса обработки изображения, чтобы видеорегистратору оставалось лишь провести анализ видеoinформации, например, для запуска алгоритма сигнализации. А в США сейчас разрабатывают видеокамеры, которые даже эту функцию берут на себя, практически полностью исключая видеорегистратор из цепи. В европейских странах пока не видят такой необходимости.

### **Основная часть**

Подобные инновации в сфере видеоинженерии требуют более точный и простой метод обработки видеoinформации. За счет желания поместить все функции видеорегистратора в одну видеокамеру возникает необходимость внедрять каждой камере

средство анализа данных, что значительно повысит как стоимость, так и полезность каждой единицы.

Одним из наиболее выгодных вариантов для подобной модернизации является аппроксимация или интерполяция с помощью сплайнов. Этот метод позволяет производить преобразование и анализ видеoinформации по небольшим участкам, что значительно уменьшает вероятность и степень погрешности. Формирование полиномов из участков сплайнов позволяет легко манипулировать уровнем точности и чистотой точек сшивания. Об этом подробнее можно прочитать в статьях [1-2].

Существует множество видов сплайн-аппроксимации. Основным принципом разделения этого метода являются различные типы сплайнов, фундаментальными различиями которых можно считать именно совокупности определенных признаков. Степень полинома, используемого для преобразования информации, напрямую влияет на точность аппроксимации, но точности также прямопропорциональна сложность расчетов. Таким образом далеко не всегда приоритет стоит на стороне точности. В бытовых условиях, а не во время научного эксперимента, очень часто бывает так, что скорость анализа по важности значительно превосходит все остальные параметры.

Видеонаблюдение, помимо стационарных видеокамер, может также осуществляться с помощью мобильных автоматических устройств, например, дронов или беспилотных летательных аппаратов. Подобные устройства, в связи с их функциями и предназначением, выполняют большое количество операций, исполняемых за счёт передачи и преобразования цифровых данных. Разные виды сенсоров, необходимых для полноценного функционирования дронов, располагаются на внешней стороне корпуса и позволяют устройству ориентироваться в пространстве. Также соответственно присутствует камеры видеонаблюдения, которые в сравнении со стационарными камерами нуждаются в большей частоте кадров, в том числе и из-за предназначения. Из-за большого количества видеоданных, которые необходимо отправлять на большое расстояние скорость передачи страдает. О современном решении этой проблемы подробнее рассказывается в статье [3].

«В этом случае алгоритм слежения выполняется на встроенной системе и преобразует отслеженное местоположение цели в скорость дрона для перемещения дрона в соответствии с движением цели. Проблемой бортовой обработки является задержка передачи видеоизображения с дрона на наземную станцию и время передачи управляющего сигнала с наземной станции на дрон. Проблема бортовой обработки заключается в том, что ресурсы встроенной системы очень ограничены.

Поэтому для достижения интеллектуального зрения требуется большое время обработки. Это ограничивает возможности использования встраиваемых систем в приложениях искусственного интеллекта. С увеличением числа приложений, необходимых для работы этого алгоритма ИИ на граничных устройствах без подключения к облаку, разработчики микросхем и многие производители аппаратного обеспечения начинают создавать граничные устройства, которые могут выполнять этот алгоритм с меньшим временем обработки.» [3]

Примерами подобных устройств можно считать HDMI и SDI передатчики и Teradek Bolt 4K, работающие на основе стандартного цифрового кодирования. Однако, чтобы избежать необходимости присоединять к конструкции дополнительные устройства для ускорения обработки и передачи информации, что утяжелит нуждающееся в мобильности и скорости передвижения устройство, возможно использование метода аппроксимации с помощью сплайнов. Данный метод может помочь ускорить передачу данных за счет уменьшения объема передаваемой информации. Этот метод не имеет большого преимущества в сравнении с современными решениями, однако может служить хорошей альтернативой для создания и управления видеокамерами без физической связи с приемником информации.

## **Заключение**

Сфера видеонаблюдения в настоящее время очень быстро развивается, что позволяет использовать различные инновационные методы и их совокупности. Аппроксимация и интерполяция с помощью сплайнов помогает реализовать в лучшем виде различные функции, в большинстве из которых нуждаются камеры, как стационарные, так и в составе летательных аппаратов, что делает из этого метода отличную альтернативу современным вариантам обработки и передачи информации.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Шамина, А. А. Аппроксимация радиосигналов с помощью сплайнов / А. А. Шамина А. В. Лубенцов // IV научно-педагогические чтения молодых ученых имени профессора С.В. Познышева: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции курсантов и студентов, Воронеж, 17 апреля 2024 года. – Воронеж: Воронежский институт ФСИН России, 2024. – С. 504-507. – EDN AFEZYW (дата обращения: 03.12.2024).
2. Шамина, А. А. Анализ модели защиты радиосигналов с помощью аппроксимации полиномиальными сплайнами / А. А. Шамина, А. В. Лубенцов // Актуальные вопросы обеспечения безопасности объектов с использованием инженерно-технических средств охраны: Сборник научных трудов межвузовской научно-практической конференции, Пермь, 25 апреля 2024 года. – Пермь: Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, 2024. – С. 109-113. – EDN XIOYBZ (дата обращения: 03.12.2024).
3. Ишков, А. С. Отслеживание объектов с помощью дрона: системный анализ / А. С. Ишков, Д. Г. Шилкин, Е. А. Радиков // Современные технологии обработки сигналов (СТОС-2023) (Серия: Научные всероссийские конференции): Доклады 4-ой Всероссийской конференции, Москва, 12–13 декабря 2023 года. – Москва: Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2023. – С. 136-139. – EDN JGQGSN (дата обращения: 03.12.2024).

УДК 629.7.062

Ярцева Анна Александровна, курсант, Воронежский институт ФСИН России  
Yartseva Anna Alexandrovna, cadet, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

Лубенцов Александр Витальевич, кандидат географических наук, доцент, Воронежский институт ФСИН России  
Lubentsov Alexander Vitalievich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

## **АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БПЛА AERODYNAMIC ASPECTS IN THE DESIGN OF UAVS**

Аннотация. В работе рассмотрены методы описания аэродинамической составляющей беспилотных летательных аппаратов, позволяющие моделировать и прогнозировать их движение в пространстве. Приведены основные аспекты, на которые необходимо обратить внимание при проектировании БПЛА.

Annotation. The paper considers methods for describing the aerodynamic component of unmanned aerial vehicles, which allow modeling and predicting their movement in space. The main aspects that need to be paid attention to when designing a UAV are given.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, моделирование, аэродинамика, конструкция, управление, эффективность.

Keywords: unmanned aerial vehicle, modeling, aerodynamics, design, control, efficiency.

## Введение

При проектировании беспилотного летательного аппарата (БПЛА) учет аэродинамических особенностей является ключевым фактором для достижения эффективной работы, стабильности и маневренности аппарата. Грамотное описание аэродинамической составляющей осуществляется с помощью различных методов и инструментов [1-3].

**1. Математическое моделирование.** Используются математические модели, которые описывают силы и моменты, действующие на беспилотник в воздухе. Математические модели позволяют предсказать поведение БПЛА в различных условиях полета. Важными параметрами для анализа являются скорость, углы атаки и условия окружающей среды. Модели основываются на уравнениях Навье-Стокса, которые описывают движение жидкости и газа, что позволяет получить точные данные о распределении давления и потоке воздуха вокруг воздушного судна. А также движение БВС можно описать с помощью уравнений Ньютона или уравнений Лагранжа. Основные параметры, которые нужно учитывать – это силы, действующие на БВС в воздушной среде, и моменты двигателей. Рассмотрим силы, возникающие в процессе полета (рисунок 1).

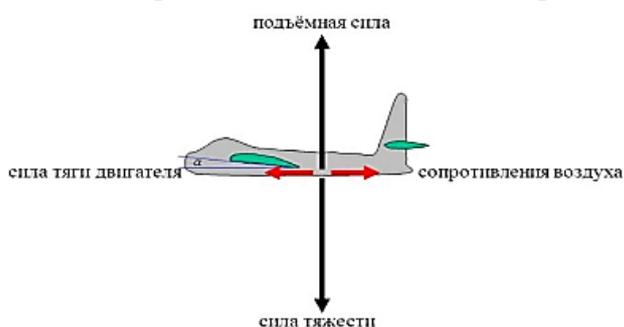


Рисунок 1 – Силы, действующие на БПЛА во время полета

Сила тяги – это механическая сила, которая перемещает БВС в воздухе с помощью двигательной установки.

Сила сопротивления. Объект, движущийся с заданной скоростью, испытывает силу сопротивления, которая увеличивается с ростом скорости.

Вес-сила, действующая на объект из-за наличия гравитации.

Подъемная сила - создается за счет вращения лопастей роторов, что приводит к разнице давлений над и под лопастями.

**2. Компьютерное моделирование.** Компьютерное моделирование БПЛА включает использование программного обеспечения, такого как MATLAB (пакеты Simulink и UAV Toolbox) и ROS (Robot Operating System). Эти инструменты позволяют проводить полный цикл проектирования, начиная с создания модели и заканчивая решением вопросов управления полётами. Они также предоставляют возможности для разработки автономных алгоритмов полёта, полётных контроллеров и планирования миссий БПЛА. Программное обеспечение для CFD (Computational Fluid Dynamics) позволяет моделировать аэродинамические свойства беспилотников, анализируя поток воздуха и его взаимодействие с телом беспилотника.

**3. Сетевые карты и графики.** Данные о подъемной силе, сопротивлении и других аэродинамических характеристиках могут быть представлены визуально в виде графиков и диаграмм.

**Основные аспекты, которые следует учитывать при проектировании БПЛА:**

**Форма корпуса:** Аэродинамические характеристики корпуса БПЛА влияют на его сопротивление воздуху. Обтекаемая форма помогает снизить аэродинамическое сопротивление и увеличить эффективность полета (рисунок 2). Избегание резких углов и использование гладких линий способствует улучшению аэродинамики.



Рисунок 2 – Пример квадрокоптера с обтекаемой формой корпуса

**Конструкция и расположение роторов:** Позиционирование и угол наклона роторов (или пропеллеров) имеют решающее значение для создания подъемной силы. Кроме того, следует учитывать возможные взаимодействия между потоками воздуха от верхних и нижних роторов, особенно в многороторных системах. На рисунке 3 представлен принцип взаимодействия воздушного потока и крыла БВС.

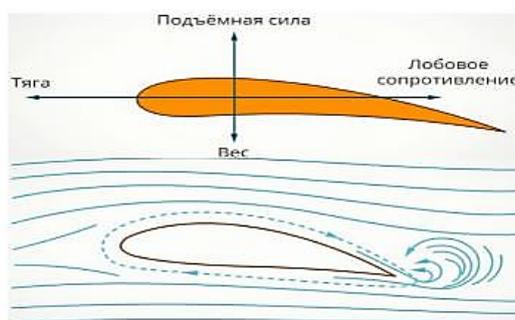


Рисунок – 3 Формирование подъемной силы в воздушном потоке

Мультикоптеры, как правило, имеют несколько роторов, расположенных симметрично вокруг центра. Это обеспечивает стабильность и баланс. Классические конфигурации включают квадрокоптеры (4 ротора), октакоптеры (8 роторов) и др. Расположение и количество роторов влияют на подъемную силу и распределение нагрузки.

**Размер и тип пропеллеров:** Величина и форма лопастей пропеллеров влияют на подъемную силу и затраты энергии. Обычно используются пропеллеры с большим диаметром и малым шагом для обеспечения высокой подъемной силы при низких оборотах, что способствует более эффективному использованию аккумуляторов.

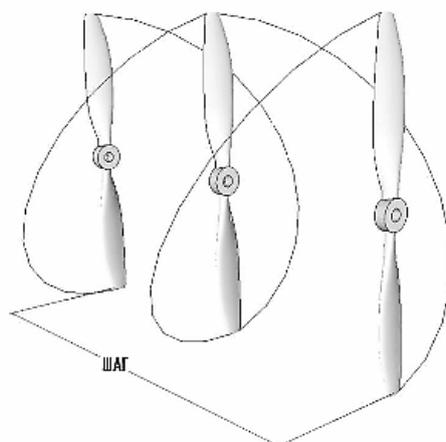


Рисунок 4 – Геометрический шаг винта

**Управление потоками воздуха:** Правильное распределение потоков воздуха вокруг квадрокоптера помогает избежать нежелательных эффектов, таких как закрутка или неравномерное распределение подъемной силы. Взаимодействие между потоками

от соседних роторов может снижать эффективность, поэтому важно оптимально расположить их. Это особенно важно при выполнении маневров. Угол атаки напрямую влияет на маневренность БПЛА. Для выполнения резких маневров нужен оптимальный угол атаки, который позволит сохранить контроль над аппаратом и избежать сваливания.

Угол атаки ( $\alpha$ ) – угол между направлением скорости тела и его хордой. Угол атаки может быть положительным, нулевым и отрицательным (рисунок 5). При угле атаки  $\alpha=0$  картина обтекания на верхней и нижней поверхности профиля крыла абсолютна симметрична, следовательно, профиль на этом угле атаки подъемную силу не создает. При  $\alpha<0$  создается отрицательная тяга, летательный аппарат падает.

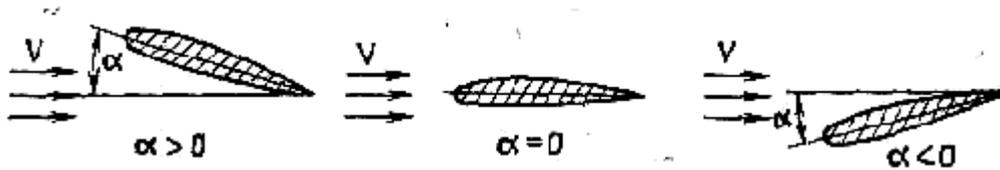


Рисунок 5 – Углы атаки

В случае  $\alpha>0$  скорость обтекания над крылом увеличивается по сравнению со скоростью под крылом. Согласно уравнению неразрывности, частицы с различными скоростями проделывают свой путь за одно и то же время, следовательно, согласно закону Бернулли, давление, возникающее над крылом меньше, под крылом – больше. На рисунке 6 изображена несимметричная картина обтекания крыла.

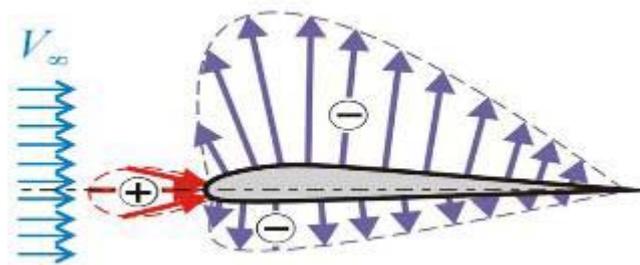


Рисунок 6 – Векторная диаграмма распределения коэффициента давления несимметричного профиля при угле атаки  $\alpha>0$

При увеличении угла атаки до значения близкого к  $\alpha_{кр}$ , на конце верхней поверхности профиля зарождается отрыв пограничного слоя. И при дальнейшем увеличении угла атаки точка отрыва пограничного слоя начинает быстро перемещаться по верхней поверхности профиля, возникает зона обширного срыва потока, представленная на Рисунке 7.

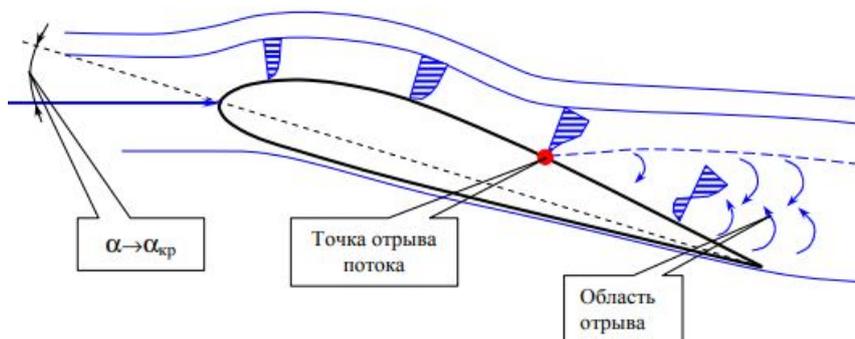


Рисунок 7 – Срыв потока на профиле

**Вес, материал и форма конструкции:** Легкие, но прочные материалы (например, углепластик, алюминий, пластик) следует применять для уменьшения веса квадрокоптера, что, в свою очередь, снижает потребление энергии и увеличивает время поле-

та. Чаще всего используются следующие формы рам: Н, Х, гибрид Х, вытянутая Х, квадратная, Plus. У каждого типа рамы свои особенности: например, рама типа «Х» имеет короткий фюзеляж в виде квадрата, вся электроника собирается в центре, а лучи располагаются четко по углам квадрата. Рама типа «Н» имеет более длинную центральную часть, что делает сборку и ремонт компонентов в ней проще и удобнее.



Рисунок 8 – Пример рамы

**Системы активной и пассивной стабилизации:** Проектирование систем для стабилизации полета (например, гироскопы и акселерометры) также имеет значение. Они помогают корректировать положение квадрокоптера в воздухе, учитывая изменения в аэродинамических условиях.

**Изменение условий полета:** Аэродинамические характеристики мультикоптеров могут изменяться в зависимости от высоты, температуры и плотности воздуха. Это важно учитывать при проектировании и настройке систем управления, чтобы обеспечить оптимальную производительность.

#### **Заключение**

Таким образом, физический принцип функционирования устройства, математическое описание, теория управления и обратной связи, а также использование компьютерного моделирования и аэродинамических стендов для тестирования прототипов позволяют предсказать поведение квадрокоптера в различных условиях и откорректировать проект на ранних стадиях.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Основы аэродинамики и динамики полета: [Учеб. для сред. летных учеб. заведений гражд. авиации] / Н. Г. Григорьев. - Москва : Машиностроение, 1995. - 399 с. : ил.; 22 см.; ISBN 5-217-01738-4 (В пер.) : Б. ц.
2. Николаев Л.Ф. Аэродинамика и динамика полета транспортных самолетов. - Москва: Транспорт, 1990. - 392 с.
3. Аэродинамика и динамика полета транспортных летательных аппаратов. Кн. 1. Аэродинамика / под ред. В.Е. Касторского. - Рига: РКИИГА, 1968. - 457 с

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>СЕКЦИЯ. МАШИНОСТРОЕНИЕ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ.....</b>	<b>3</b>
<b>Акулина А. А., Немолякина Е. А., Щелкунов Е. Б.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «КАЧАЛКА» ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-ПЕЧАТИ.....	<b>3</b>
<b>Боровской И. В., Плетнев Н. О., Григорьев В. В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАННЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ ПРИ ПОМОЩИ УСТРОЙСТВА ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ.....	<b>6</b>
<b>Боровской И. В., Плетнев Н. О., Григорьев В. В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ПОДДЕРЖИВАЮЩЕГО СЛОЯ ДЛЯ ПЕРВОГО ПРОХОДА ПРИ АДДИТИВНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ .....	<b>9</b>
<b>Весненко С. Д., Старцев Е. А.</b> АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА, ПОЛУЧЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ .....	<b>13</b>
<b>Весненко С. Д., Старцев Е. А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПОЛУЧЕННОГО ПУТЕМ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	<b>16</b>
<b>Войтович Р. А., Фролов А. В.</b> МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОИСКА СТЫКА УСТАНОВКИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПОРТАЛЬНОГО ТИПА.....	<b>20</b>
<b>Войтович Р. А., Фролов А. В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ЦИФРОВОГО ДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СВАРОЧНОГО ВРАЩАТЕЛЯ .....	<b>23</b>
<b>Дмитриев К. Ю., Белова И. В.</b> ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН ЗАМЯТИЯ РЕЗЬБЫ НА ВИНТЕ ГИДРОЦИЛИНДРА ПОДЪЕМА СВОДА.....	<b>26</b>
<b>Дмитриев К. Ю., Белова И. В.</b> ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЯ ВАЛА РЕДУКТОРНОЙ КАССЕТЫ.....	<b>29</b>
<b>Дмитриев К. Ю., Белова И. В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС РЕДУКТОРНОЙ КАССЕТЫ ПРОВОЛОЧНОГО БЛОКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЯ.....	<b>32</b>
<b>Дмитриев К. Ю., Белова И. В.</b> ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА .....	<b>35</b>
<b>Дмитриев К. Ю., Белова И. В.</b> ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ КРАНОВОГО КОЛЕСА .....	<b>38</b>
<b>Загнетов В. А., Бахматов П. В.</b> КАВИТАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ....	<b>41</b>
<b>Захарченко Д. А., Москаева А. В.</b> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОСЦИЛЛЯЦИИ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА .....	<b>45</b>
<b>Короткий М. М., Фролов А. В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ УСТАНОВКИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ.....	<b>49</b>

<b>Короткий М. М., Фролов А. В.</b> ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМ ЗОНДИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЗАГОТОВОК ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СВАРКЕ.....	52
<b>Кравченко А. К., Кравченко Е. Г.</b> ОЦЕНКА СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ КОНТРОЛЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	56
<b>Кравченко А. К., Кравченко Е. Г.</b> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ПЕРЕКРЕСТНОТОЧНОЙ НАСАДКИ.....	60
<b>Люхо И. А., Федулов Е. А., Шакирова О. Г.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЁРДОСТИ КОКСА В ЗМЕЕВИКЕ ПЕЧИ .....	63
<b>Мазанко А. В., Комарова Т. В., Федулов Е. А.</b> ВАРИАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОЦЕССА ИЗОМЕРИЗАЦИИ ФРАКЦИИ НК-100 .....	66
<b>Подшивалова И. М., Лосев Н. В., Трифонова И. П., Бурмистров В. А.</b> МЕХАНОАКТИВАЦИЯ КАК СПОСОБ АМОРФИЗАЦИИ КУКУРУЗНОГО КРАХМАЛА .....	69
<b>Понимасов Д. П., Кулик А. А.</b> МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА ВВОДА СЫРЬЯ В РЕАКТОРА Р-101А/В .....	72
<b>Поправко Д. Г., Григорьев В. В.</b> ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В ИНТЕРВАЛАХ ПОЛИМОРФНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ20.....	76
<b>Протас Н. И., Морозова Т. Д., Шакирова О. Г.</b> ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ ДЕСОРБЦИИ ЗОЛОТА С УГЛЯ.....	79
<b>Рубан Е. А., Акулина А. А., Щелкунов Е. Б.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, ОБЪЕДИНЯЮЩЕГО ТРАДИЦИОННЫЕ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	82
<b>Сергеев В. А., Шакирова О. Г.</b> ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФРАКТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ НА НЕФТЕ- И ГАЗОПРОВОДАХ.....	85
<b>Тимохин О. С., Пронин А. И.</b> АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛИ .....	88
<b>Чжао Цзыдун, Шуляк Д. А., Башкова Т. И.</b> АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ МИКРОДУГОВОМ ОКСИДИРОВАНИИ.....	92
<b>Шанин Р. С., Григорьев В. В., Плетнев Н. О.</b> ПОЛУЧЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ АДДИТИВНОЙ ДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ .....	95
<b>Шумагин А. М., Отряскина Т. А.</b> ВЫБОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ГАЗОТРУБОПРОВОДОВ .....	98
<b>СЕКЦИЯ. ТРАНСПОРТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС, АВИАЦИОННАЯ И МОРСКАЯ ТЕХНИКА .....</b>	102
<b>Аксёнова О. С., Бурменский А. Д.</b> СУДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ОТРАСЛЬ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА В УСЛОВИЯХ САНКЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ .....	102
<b>Боровик М. В., Смирнов А. В.</b> ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УГОЛЬНЫХ ТЭС....	106

<b>Боровской С. А., Лозовский И. В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОГО КРЫЛА В МАЛОРАЗМЕРНОМ ЛЕТАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ.....	109
<b>Гой О. А., Айрих И. И., Журбина И. Н.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КОРПУСА .....	112
<b>Журбина Е. Н., Аксёнова О. С., Бурменский А. Д.</b> ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ PLM-РЕШЕНИЙ КОНСОРЦИУМА «РАЗВИТИЕ» В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ КОРАБЕЛОВ В КНАГУ .....	116
<b>Загородний А. Е., Марьин С. Б.</b> АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОПЫТА ПО ПРИМЕНЕНИЮ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛЕПКИ НА АВИАСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ РОССИИ.....	120
<b>Ким Н. С., Гунькова О. В.</b> ОБЗОР МИРОВЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ – «ГРУЗОВЫХ ДЕРЕВЕНЬ» ....	123
<b>Клюшин К. Н., Баранов Е. В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ГОРОДА КОМСОМОЛЬСКА-НА-АМУРЕ .....	126
<b>Ковалев В. В., Баранов Е. В.</b> ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ОТСУТСТВИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.....	129
<b>Корнеева Л. А., Смирнов А. В.</b> ПЕРСПЕКТИВНАЯ СХЕМА ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ С ВНУТРИЦИКЛОВОЙ ГАЗИФИКАЦИЕЙ УГЛЯ ДЛЯ АМУРСКОЙ ТЭЦ-1 .....	133
<b>Кривенко М. Ю.</b> МОДЕЛЬ ПОТОКА В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЭЛЕКТРОНАСОСНОГО АГРЕГАТА .....	136
<b>Кузин Г. В., Баранов Е. В.</b> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НА КПД КОТЛА ТЕМПЕРАТУРЫ ГЛУБОКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ТЭЦ.....	139
<b>Курбанова Т. А., Смирнов А. В.</b> ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВОДОПОДГОТОВКИ НА АМУРСКОЙ ТЭЦ-1 .....	142
<b>Лалетина Ю. Г., Хвостиков А. С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ПОДПАЗОВОГО КАНАЛА ВОДОРОДНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА.....	146
<b>Лю Вэньмин, Каменских И. В.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ГОФРОВ ПЕРЕБОРОК ТАНКЕРА .....	149
<b>Маршалов А. А., Баранов Е. В.</b> СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕПЛООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ.....	153
<b>Нецветаев Д. В., Смирнов А. В.</b> ОСОБЕННОСТИ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ STIG-ТЕХНОЛОГИИ.....	157
<b>Петров В. С., Куриный В. В.</b> РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ И ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДАМИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	160
<b>Пиголицына Э. А., Хвостиков А. С.</b> РАЗРАБОТКА ТРИГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ НУЖД ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА .....	163

<b>Сорока Н. А., Хвостиков А. С.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В КОНТАКТНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ С ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	166
<b>Сычев Д. А., Хвостиков А. С.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЦИКЛОННО-ВИХРЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В ПАРОВОМ КОТЛЕ.....	169
<b>Теплов В. А., Каменских И. В.</b> ПОМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ЭКИПАЖА НА КРУПНОТОННАЖНЫХ СУДАХ.....	172
<b>СЕКЦИЯ. ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ</b> .....	176
<b>Башков Д. А., Сериков А. В.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА.....	176
<b>Белых Д. В., Фролов А. В.</b> РАЗРАБОТКА АНАЛИЗАТОРА РАДИОСИГНАЛОВ.....	179
<b>Бондарев С. А., Черкашин Р. А., Янченко А. В.</b> РАЗРАБОТКА СХЕМЫ РЕАКТОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПЕЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА.....	182
<b>Бурматова Е. К.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ УПРАВЛЕНИИ.....	185
<b>Бутко В. П., Кузьмин Р. В.</b> К ВОПРОСУ СИНХРОНИЗАЦИИ ДУГОСТАТОРНЫХ ИНДУКТОРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПРИ ИХ ВКЛЮЧЕНИИ НА ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ РАБОТУ .....	188
<b>Герашенко В. В., Емельянов К. А.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫСОТЫ РЕЗАКА ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ РЕЗКИ .....	191
<b>Гилёв А. С., Любушкина Н. С.</b> РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАДИОКОМПАСА.....	195
<b>Голубева В. И., Фролов А. В.</b> РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	199
<b>Грищенко Ф. В., Савельев Д. О.</b> АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	202
<b>Золотухина Е. Ю., Найпак К. А.</b> ВЛИЯНИЕ ВПРЫСКА ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА НА ПАРАМЕТРЫ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ.....	206
<b>Зубарев И. П., Сериков А. В.</b> АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОМ НАГРЕВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК .....	209
<b>Иванов В. В., Сериков А. В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ .....	212
<b>Калашников Д. С.</b> ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ.....	215
<b>Козлов И. И., Любушкина Н. Н.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ .....	218

<b>Кольцов В. С., Копытов С. М.</b> СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ТОЧКАМИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ НАВИГАЦИИ .....	221
<b>Кряжев А. А., Кузьмин Р. В.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РЕМОНТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО УЧАСТКА .....	224
<b>Кузьмин Е. Р., Любушкина Н. Н.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ .....	227
<b>Куликов А. А., Фролов А. В.</b> РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИОСТАНЦИИ .....	230
<b>Лавриненко В. Д., Фролов А. В.</b> РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПРОВЕРКИ ЛИНИИ СВЯЗИ .....	233
<b>Локтионов Г. А., Копытов С. М.</b> РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОГО ДЖОЙСТИКА НА ОСНОВЕ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА .....	236
<b>Лямин М. А., Черный С. П.</b> К ВОПРОСУ РОБОТИЗАЦИИ ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЕЙ В САМОЛЁТОСТРОЕНИИ ...	239
<b>Ляпин В. В., Табаров Б. Д., Соловьев В. А.</b> ВЛИЯНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ НА РАБОТУ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ .....	242
<b>Ляховский В. Е., Стельмашук С. В.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С УПРУГИМ ОБЩИМ ВАЛОМ В СРЕДЕ SIMINTESN .....	245
<b>Минебаев Н. Л., Горькавый А. И.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕННОЙ ЗАДЕРЖКИ ИДЕНТИФИКАТОРА МОМЕНТА ИНЕРЦИИ В МЕХАТРОННОМ МОДУЛЕ С АДАПТИВНЫМ МОДАЛЬНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ .....	248
<b>Петраков Н. А., Фролов А. В.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОКЛАВОМ .....	251
<b>Рожкова О. А., Лубенцов А. В.</b> СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ С ЯДРАМИ ARM И RISC-V .....	255
<b>Савельева А. С., Савельев Д. О.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ .....	258
<b>Савельева А. С., Сбитнев Н. Р., Савельев Д. О.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАПАЗДЫВАНИЯ НА ДИНАМИКУ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА .....	262
<b>Сбитнев Н. Р., Савельев Д. О.</b> ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ .....	265
<b>Сбитнев Н. Р., Черный С. П.</b> ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПЕРЕГОНЕ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ .....	269
<b>Столярова С. В., Столяров А. А., Кузьмин Р. В.</b> РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АГРОКОМПЛЕКСА .....	271

<b>Суртаев Я. В., Копытов С. М.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В СИСТЕМАХ СПАСЕНИЯ ПИЛОТА ПРИ КАТАПУЛЬТИРОВАНИИ .....	273
<b>Тимохин П. А., Копытов С. М.</b> РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ.....	277
<b>Томских А. А., Богатырев М. А., Савельев Д. О.</b> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ПЕРЕВЕРНУТОГО ДВУХЗВЕННОГО МАЯТНИКОВОГО МЕХАНИЗМА.....	280
<b>Томских А. А., Савельев Д. О., Черный С. П.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ПОДВОДНОГО МОДУЛЯ.....	284
<b>Трифонов М. Е., Фролов А. В.</b> РАЗРАБОТКА СТЕНДА ПРОВЕРКИ ДАТЧИКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ.....	286
<b>Франчук В. С., Зайченко И. В., Катунцева Н. Л.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ.....	289
<b>Франчук В. С., Петухов А. В.</b> АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ПОИСКА И АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ, ВЫЗЫВАЕМЫХ КОРОННЫМ РАЗРЯДОМ.....	293
<b>Хохлов Р. Е., Стельмашук С. В.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА МОБИЛЬНОГО ТРЕХКОЛЕСНОГО РОБОТА .....	296
<b>Цыкунова А. А., Сериков А. В.</b> СПОСОБЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ПЕРЕД ШТАМПОВКОЙ .....	298
<b>Цыкунова А. А., Янченко А. В.</b> РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТОВ ПРИ РАБОЧИХ ТОКАХ .....	302
<b>Шапараев Ф. А., Дерюжкова Н. Е.</b> МЕТОДЫ УЧЕТА МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕГУЛЯТОРЕ МОЩНОСТИ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ.....	305
<b>Швец А. Н., Фролов А. В.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВОЙ ГОРЕЛКОЙ КОТЛОАГРЕГАТА ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ .....	308
<b>СЕКЦИЯ. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....</b>	311
<b>Альхименко И. Н., Гулина Н. А., Трешев И. А.</b> О ПОДХОДЕ К ИЗМЕРЕНИЮ НАВОДОК НА ЦЕПИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ .....	311
<b>Бивоин А. О., Ткачева Ю. И.</b> ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	315
<b>Боровик Н. С., Ткачева Ю. И.</b> РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНВЕЙЕРА ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ "ОБРАЗ" .....	318
<b>Валитова Д. М., Лубенцов А. В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ LED И EXIR-ТЕХНОЛОГИИ ПОДСВЕТКИ .....	321

<b>Весненко С. Д., Старцев Е. А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА-НАПЛАВКИ ПОЛУЧЕННОГО ПУТЕМ ВЫПОЛНЕНИЯ СВАРОЧНЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	323
<b>Гончаров П. О., Лубенцов А. В.</b> ЭКРАНИРОВАНИЕ КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ БОРЬБЫ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ .....	326
<b>Гончарова Д. О., Лубенцов А. В.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ ТОЧНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАДЫМЛЕННОСТИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ .....	330
<b>Иванов В. В., Ткачева Ю. И.</b> ДИАГНОСТИКА СТАРЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ И ПРОГНОЗ ЕЕ ДАЛЬНЕЙШЕГО СРОКА СЛУЖБЫ В СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ .....	333
<b>Костиков С. А.</b> ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ ПО РАСЧЕТУ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА В КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕНЫ ТРОМБА.....	335
<b>Люхо И. А., Весненко С. Д.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	339
<b>Люхо И. А., Весненко С. Д.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ МЕТОДОМ АРХИМЕДА И ПИКНОМЕТРИЧЕСКИ .....	342
<b>Миркин С. М., Лубенцов А. В.</b> СРАВНЕНИЕ РАДИОВОЛНОВЫХ ДВУХПОЗИЦИОННЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ.....	346
<b>Мионов А. Н., Новгородов Н. А., Ткачева Ю. И.</b> ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ КАПСУЛ С АКТИВНЫМ ВЕЩЕСТВОМ В ЛОПАТКЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	349
<b>Монастырская Е. И., Гулина Н. А., Трещев И. А.</b> О ВЫБОРЕ СРЕДСТВ АНАЛИЗА ПОЛЯ WI-FI.....	353
<b>Монастырская Е. И., Трещев И. А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЗАТУХАНИЯ WI-FI ПОЛЯ.....	356
<b>Монастырская Е. И., Трещев И. А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ WI-FI ИЗЛУЧЕНИЙ И АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ.....	359
<b>Пухов А. А., Новгородов Н. А., Ткачёва Ю. И.</b> ЧЁРНОЕ И БЕЛОЕ – СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕНЯЕМЫХ ЭМИССИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕЩЕСТВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУР В УСЛОВИЯХ ВЫРОЖДЕННОГО СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ.....	363
<b>Пухов А. А., Новгородов Н. А., Ткачёва Ю. И.</b> К ПРОБЛЕМЕ ЭФФЕКТИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ.....	366
<b>Пухов А. А., Новгородов Н. А.</b> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ НА ВЕЛИЧИНУ ФАЗНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПОНИЖАЮЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА.....	369
<b>Ревякин Н. А., Лубенцов А. В.</b> ИНТЕГРАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ТЕПЛОВИЗИОННЫМИ КАМЕРАМИ В СИСТЕМУ РЕАГИРОВАНИЯ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ .....	372

<b>Ткачёва Н. А., Усынин М. В., Соловьев В. А.</b> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЛНОВОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОПЛАВКОМ ЧЕЧЕВИЦЕОБРАЗНОЙ ФОРМЫ И ОЦЕНКА ЕГО ПРЕИМУЩЕСТВ .....	375
<b>Цыкунова А. А., Сериков А. В.</b> ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, КАК ФАКТОР ВЫБОРА МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ШТАМПОВОЧНЫХ ЗАГОТОВОК .....	378
<b>Чепурнова Е. К., Андрианов И. К.</b> КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ТУРБИНОЙ ЛОПАТКЕ С ПРОДОЛЬНОМ ОХЛАЖДЕНИЕМ .....	382
<b>Шадрина А. С., Лубенцов А. В.</b> АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОМЕТРИИ ВЕН РУКИ В СКУД .....	385
<b>Шамина А. А., Лубенцов А. В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАЙН-АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ И УЛУЧШЕНИЯ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ С ФУНКЦИЕЙ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ.....	388
<b>Ярцева А. А., Лубенцов А. В.</b> АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БПЛА.....	390

*Научное издание*

**НАУКА, ИННОВАЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ:  
ОТ ИДЕЙ К ВНЕДРЕНИЮ**

Часть 1

Материалы III Всероссийской научно-практической конференции  
молодых ученых  
Комсомольск-на-Амуре, 11-12 декабря 2024 г.

Ответственный редактор А. В. Космынин

Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано в печать 14.01.2025.

Формат 60×84 1/16. Бумага 65 г/м<sup>2</sup>. Ризограф RISO EZ 570E.  
Усл. печ. л. 23,50. Уч.-изд. л. 22,50. Тираж 100 экз. Заказ 31237.

Редакционно-издательский отдел  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»  
681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.