



*Году педагога  
и наставника  
посвящается*

*В рамках  
Фестиваля науки  
в Тамбовской  
области*



# **ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

**ВЫПУСК XV**

**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА,  
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ  
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ, ПРИБОРЫ  
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЕ  
БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИОМЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ  
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ  
ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ  
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ  
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ  
ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Научное электронное издание*

**Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2023**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Российская экологическая академия  
Ассоциация «Объединенный университет им. В. И. Вернадского»

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

# **ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

**Сборник научных статей  
молодых ученых, аспирантов и студентов**

**Выпуск XV**

**Информатика, вычислительная техника, информационные системы  
Системный анализ и управление, приборы  
Материаловедение, нанотехнологии, машиностроение  
Биотехнология, биомедицинская инженерия  
Технология продуктов питания  
Процессы и аппараты химических и других технологий  
Энергетика, энергоснабжение, энергосбережение  
Архитектура и строительство, транспорт  
Экономика, управление качеством продукции  
Проблемы техногенной безопасности**

*Научное электронное издание*



---

Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2023

ББК я43  
П78

*Конференция проводилась в рамках реализации в форме субсидий из федерального бюджета образовательным организациям высшего образования на реализацию мероприятий, направленных на поддержку студенческих научных сообществ (Соглашение № 075-15-2023-564 от 16.06.2023 г.)*

#### Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, доц. М. В. Соколов (ответственный редактор);  
д-р техн. наук, проф. В. И. Леденев; д-р пед. наук, проф. Н. П. Пучков;  
д-р техн. наук, проф. Н. С. Попов; д-р техн. наук, проф. С. В. Пономарев;  
д-р техн. наук, проф. П. В. Монастырев; д-р техн. наук, проф. О. С. Дмитриев;  
д-р техн. наук, проф. Ю. Ю. Громов; д-р техн. наук, проф. Н. Ц. Гагапова;  
д-р техн. наук, проф. А. Г. Ткачев; д-р техн. наук, проф. Д. М. Мордасов;  
д-р техн. наук, проф. Г. С. Баронин

П78 **Проблемы** техногенной безопасности и устойчивого развития [Электронный ресурс] : сборник научных статей молодых ученых, аспирантов и студентов / ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – Вып. XV. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дискковод ; 0,0 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2662-0

В сборнике представлены статьи участников отборочного тура программы У.М.Н.И.К. 2023, г. в рамках Семнадцатой межвузовской научной студенческой конференции Ассоциации «Объединенный университет им. В. И. Вернадского» «Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития», а также молодых ученых, аспирантов и студентов по приоритетным научным направлениям университета: фундаментальные естественные науки; информационные системы и технологии; системный анализ и управление, приборы; материаловедение, нанотехнологии, машиностроение; биотехнология, биомедицинская инженерия; процессы и аппараты химических и других технологий; энергетика, энергоснабжение, энергосбережение; архитектура и строительство, транспорт.

Материалы могут быть полезны преподавателям, аспирантам, студентам-исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

ББК я43

*Сборник подготовлен по материалам, предоставленным в электронном варианте, и сохраняет авторскую редакцию.*

*Все выпуски сборника размещены в Научной электронной библиотеке (РИНЦ) e-library.ru*

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком. Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-1643-0 (общ.)  
ISBN 978-5-8265-2662-0 (вып. XV)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2023

УДК 004.051

*И. А. Глазкова*

## К ВОПРОСУ МОНИТОРИНГА ГРУППОВОЙ РАБОТЫ ОПЕРАТОРОВ

**Введение.** Целью исследования является определение надежности деятельности операторов дискретных полиэргатических систем обработки информации и управления при распределении функций между ними.

Указанная цель достигается путем решения следующих задач исследования:

Проанализировать существующие разработки в области эргономического обеспечения систем обработки информации и управления;

Изучить предпосылки развития научных подходов к обеспечению надежности деятельности при распределении функций между операторами систем обработки информации и управления;

Разработать комплекс моделей для описания полиэргатических систем обработки информации и управления как систем: «человек – техника – среда»;

Разработать комплекс алгоритмов, обеспечивающих автоматические синтаксический анализ и редукцию функциональных сетей, используемых при описании человеко-машинного взаимодействия, и зависимостей для количественной оценки надежности алгоритмов деятельности человека-оператора;

Выявить и сформулировать множество актуальных задач выбора оптимальных вариантов распределения функций между операторами с учетом взаимодействия элементов системы «человек – техника – среда» и разработать технологии их решения;

Разработать и внедрить компьютерную технологию и методическое обеспечение оценки и выбора вариантов распределения функций в системах обработки информации и управления.

Анализ процессов обработки информации в СОИУ позволяет выделить два типа операторов (в разрезе типов операторской деятельности): операторы-руководители и операторы-исполнители (технологи или исследователи) [1].

Оператор-руководитель управляет работой других операторов и отвечает, с одной стороны, за качество обработки заявок, с другой, –

за выполнение эргономических норм и требований деятельности операторов-исполнителей.

Комплекс формализмов, представляющих модель ЧМС, разработаны как иерархические структурные формулы. Верхний уровень имеет вид следующего коротжа:

$$MMS(N) = \langle KB(N), MP(N) \rangle, \quad (1)$$

где  $KB(N)$  – база знаний и данных о компонентных и морфологических структурах  $N$ -й ЧМС;  $MP(N)$  – модель процессов функционирования  $N$ -й ЧМС, отображающая последовательность действий и операций компонентов ЧМС.

Общий подход к формированию моделей для оператора-руководителя показан на рис. 1. При этом состав комплекса моделей должен обеспечивать задание следующей информации о СОИУ:

В какую метасистему входит, с какими окружающими системами взаимодействует, из каких ЛЭТС состоит и какие классы элементов могут входить в состав каждой из ЛЭТС;

Какие функциональные элементы должен включать процесс функционирования системы;

Какие возможны режимы функционирования системы;

Состав свойств и характеристик системы и элементов, которые могут быть применены в системе, в том числе общая характеристика свойств, описывающих возможности операторов;

Характеристика поступившей на выполнение заявки;

Множество связей различной природы (материальных, технологических, информационных, временных и т.д.), которые должны существовать между элементами системы для эффективного ее функционирования;

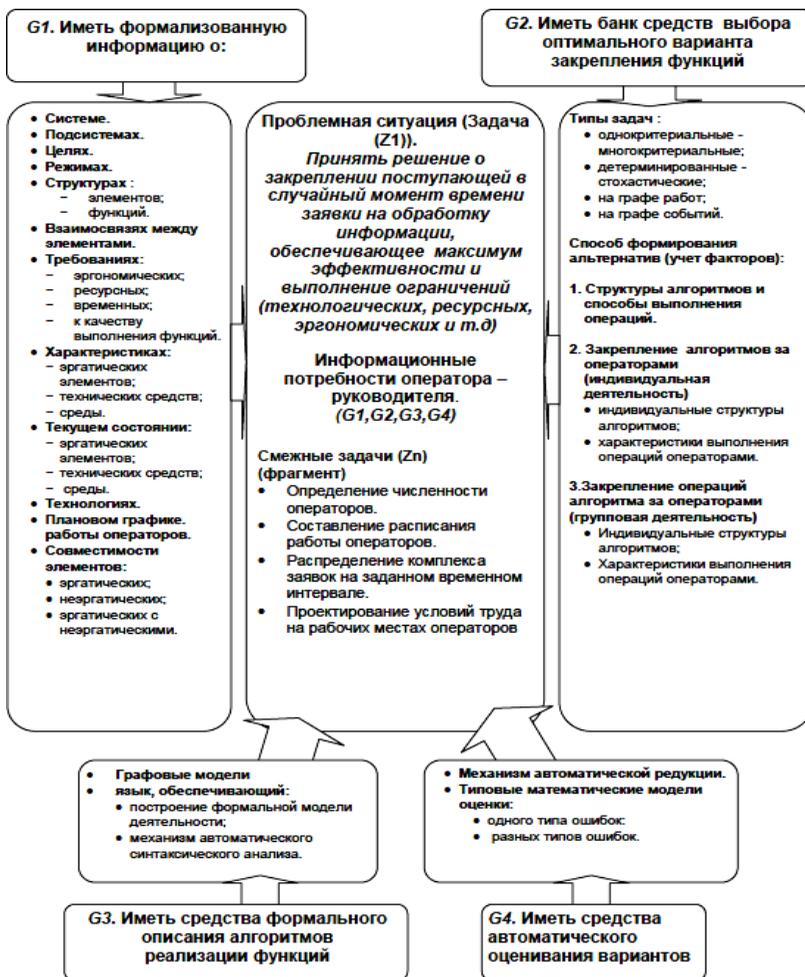
Состав свойств и характеристик, описывающих текущее состояние системы;

Вероятностные характеристики выполнения поступающих заявок различными операторами;

Состав свойств и характеристик, описывающих влияния параметров рабочей среды на показатели качества деятельности каждого оператора системы [3].

$$IMPPR = \langle MMS, MO, MVA, Ozs, SOA \rangle. \quad (2)$$

Анализ перечня сведений о СОИУ, необходимых для закрепления функций за операторами, позволяет сделать вывод о том, что эти сведения можно задать с помощью двух классов структур: компонентных и морфологических [4].



**Рис. 1. Подход к определению информационных потребностей оператора-руководителя**

Компонентные структуры вводим для выявления сущностей, необходимых для описания СОИУ при решении задачи закрепления функций, морфологические структуры – для задания связей различной природы между выделенными в компонентных структурах сущностями. [2] Тогда комплекс системных моделей *MMS* информационной модели для оператора-руководителя представим схемой, показанной на рис. 2, и структурной формулой (3):



Рис. 2. Подход к определению информационных потребностей оператора-руководителя

$$MMS = \langle CSs, CFs, CRs, CEs, Err, Rs, Ft, OpFt, PVo, FKv, Mpl, MCo, MProekt \rangle. \quad (3)$$

Описание принятых обозначений приведено на рис. 2.

Модели, необходимые для принятия решения при распределении функций между операторами СОИУ, приведены на рис. 3 [5].



Рис. 3. Модели, необходимые для принятия решения при распределении функций между операторами СОИУ

## Список литературы

1. Алтунин, А. Е. Применение теории нечеткости для оценивания технологических параметров в АСУ ВПО «Тюменгазпром» / А. Е. Алтунин, С. Н. Чуклеев, М. В. Семухин // Проблемы нефти и газа Тюмени : сб. тр. ЗапсибНИГНИ. – Тюмень. – 1983. – Вып. 58. – С. 57 – 59.
2. Система контроля доступа на основе мультимодального подхода / В. В. Алексеев, Д. В. Лакомов, Г. А. Маамари, М. В. Моисеева // материалы конференции АИР. – 2022. – Т. 2467, вып. 1.
3. Алексеев, В. В. Анализ применимости алгоритма Кэнни для распознавания изображений в условиях неопределенности / В. В. Алексеев, П. И. Карасев, Д. В. Лакомов // Информатика: проблемы, методология, технологии : материалы XVI Междунар. науч.-метод. конф., Воронеж, 11–12 февраля 2016 г. – Воронеж : Научно-исследовательские публикации. – 2016. – С. 42 – 45.
4. Вагин, В. В. Интеллектуальный модуль определения изображений деструктивной направленности / В. В. Вагин, В. В. Алексеев, Е. Н. Емельянов // Информатика: проблемы, методы, технологии : материалы XX Междунар. науч.-метод. конф. ; под ред. А. А. Зацаринного, Д. Н. Борисова. – 2020. – С. 363 – 367.
5. Анализ и синтез структур информационных целенаправленных систем : монография // Ю. Ю. Громов, М. А. Ивановский, О. Г. Иванова, А. В. Яковлев ; под общ. ред. Ю. Ю. Громова. – Саарбрюкен (Германия) : LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2015. – 164 с.

*Кафедра «Информационные системы и защита информации»  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*Е. В. Кошелев*

## **ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Информационная безопасность стала важнейшей областью в современном мире, так как информационные системы играют ключевую роль в жизни организаций и общества в целом. С развитием технологий и расширением сферы цифровизации, ростом объема хранимой и обрабатываемой информации, а также появлением новых угроз, вопросы оценки и управления рисками информационной безопасности стали более актуальными и сложными. Вот несколько ключевых аргументов, подчеркивающих актуальность данной темы:

1. Увеличение объема данных. Различные государственные и негосударственные, коммерческие и некоммерческие организации хранят и обрабатывают огромные объемы информации, включая личные данные клиентов, бизнес-процессы и государственные тайны. Угрозы по утечке и недоступности этой информации стали значительными.

2. Развитие киберугроз. С появлением киберпреступников, хакерских групп и государственных кибератак, уровень угроз информационной безопасности значительно возрос. Оценка этих рисков стала важной задачей для защиты информации.

3. Законодательные требования. Множество стран, в том числе и Россия, ввели строгие нормативы и законы, обязывая организации соблюдать стандарты информационной безопасности и сообщать о нарушениях. Оценка рисков помогает организациям соответствовать этим требованиям.

4. Повышение осведомленности. Осознание важности информационной безопасности растет среди бизнес-лидеров и общества. Оценка рисков помогает лучше понимать уязвимости и разрабатывать эффективные стратегии защиты.

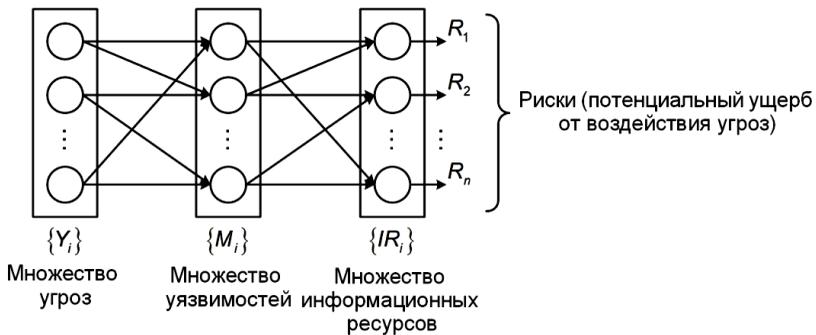
5. Технологический прогресс. Постоянное развитие информационных технологий создает новые возможности, но также усиливает риски. Оценка рисков позволяет адаптироваться к этим изменениям.

Исходя из вышеперечисленных факторов, понимание и применение подходов к оценке рисков информационной безопасности становятся неотъемлемой частью деятельности организаций, государственных институтов и частных лиц. Актуальность этой темы подчеркивает

необходимость постоянного исследования и разработки новых методов и подходов для эффективного управления рисками в сфере информационной безопасности.

Риском в сфере информационной безопасности называется потенциальная возможность понести убытки из-за нарушения безопасности информационной системы.

В статье В. Н. Максименко и Е. В. Ясюка под названием «Основные подходы к анализу и оценке рисков информационной безопасности» [1] говорится, что идеи управления рисками в сфере информационной безопасности, возникли еще в 1970-х годах, когда была разработана модель модель Клементса–Хоффмана (рис. 1) [2].



**Рис. 1. Общая схема формирования рисков информационной безопасности (модель Клементса–Хоффмана)**

Риск для информационной безопасности в модели Клементса–Хоффмана рассчитывается по формуле:

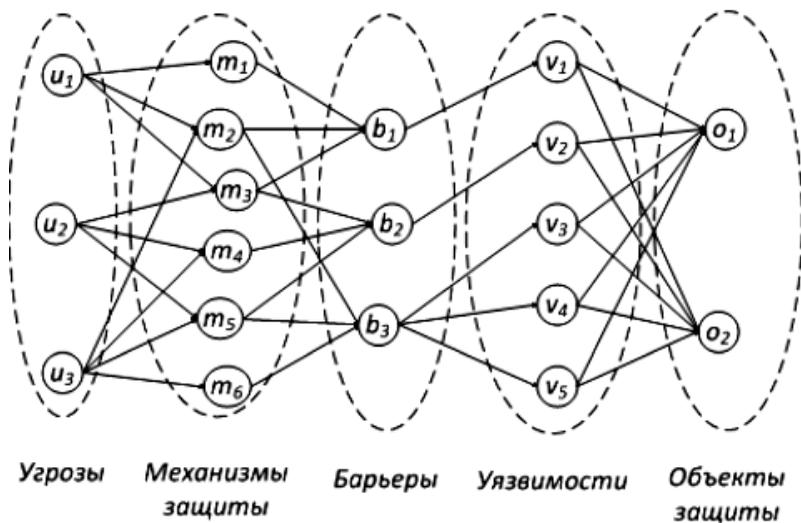
$$\text{Риск} = \text{Угроза} * \text{Уязвимость} * \text{Информационный ресурс}. \quad (1)$$

Из общей модели Клементса–Хоффмана можно сформировать модель с полным перекрытием (рис. 2). Данная модель описывает систему, в которой имеются средства защиты на каждый возможный путь проникновения [3].

Все известные методики оценки и анализа рисков можно разбить на три группы.

Качественные методы оценки рисков информационной безопасности:

1. Экспертные оценки – основаны на мнениях экспертов, которые оценивают вероятность и последствия рисков на основе своего опыта и знаний.



**Рис. 2. Модель безопасности с полным перекрытием**

2. Матрицы рисков – позволяют оценивать риски с использованием категорий, как правило, на основе цветовой кодировки или числовых шкал.

3. SWOT-анализ – используется для определения сильных и слабых сторон, возможностей и угроз в контексте информационной безопасности.

Количественные методы оценки рисков информационной безопасности:

1. Вероятностный анализ – основан на математических моделях и статистике, позволяет количественно измерить вероятность и воздействие рисков.

2. Методы Монте-Карло – используются для моделирования вероятностей событий и их воздействия, учитывая случайные факторы.

3. Экономический анализ рисков – учитывает финансовые аспекты, позволяя количественно оценить потенциальные потери и выгоды.

Качественные методы оценки рисков информационной безопасности ориентированы на экспертное мнение и качественные характеристики (например, по шкале «высокий», «средний», «низкий»), в то время как количественные методы используют численные данные и математические модели для более точной количественной оценки

рисков. Комбинирование этих методов может обеспечить более полное понимание и управление рисками информационной безопасности.

Методы смешанной оценки рисков информационной безопасности:

1. Анализ важности и вероятности – комбинируют качественные и количественные аспекты, учитывая как вероятность, так и важность рисков, чтобы определить их приоритеты.

2. FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) – оценивает риски с использованием качественных и количественных данных, а также определяет последствия сбоев и их вероятность.

Методы смешанной оценки информационной безопасности позволяют учесть разные аспекты рисков, включая их качественное и количественное измерение, что способствует более глубокому и комплексному анализу безопасности и помогает в разработке более эффективных стратегий управления рисками.

С постоянно возрастающей сложностью угроз и уязвимостей, программные продукты для оценки рисков информационной безопасности стали необходимостью. Ниже приведен перечень нескольких таких программных решений, которые помогают выявлять уязвимости, анализировать безопасность сети и приложений, и обеспечивать надежную защиту от потенциальных угроз. Они представляют собой мощные инструменты в борьбе с угрозами и обеспечении цифровой безопасности организаций.

1. Nessus – этот инструмент обеспечивает сканирование уязвимостей, помогая выявить потенциальные уязвимости в сетевых устройствах и приложениях.

2. Qualys – предоставляет облачное решение для оценки безопасности, сканируя сети на наличие уязвимостей и предоставляя рекомендации по их устранению.

3. Burp Suite – популярное приложение для тестирования на проникновение, которое позволяет обнаруживать уязвимости в веб-приложениях.

4. OpenVAS – этот открытый источник программного обеспечения предоставляет возможности сканирования уязвимостей и оценки безопасности сети.

5. Wireshark – данный инструмент является мощным средством анализа сетевого трафика, позволяя выявлять аномалии и потенциальные угрозы.

6. Snort – является системой обнаружения вторжений и позволяет мониторить сетевой трафик на предмет злонамеренной активности.

7. Metasploit – этот инструмент предоставляет широкий спектр эксплойтов и уязвимостей для тестирования на проникновение и обеспечивает информацию о безопасности.

8. Nmap – этот инструмент для сканирования сети обнаруживает активные устройства и службы на сети, помогая выявить потенциальные уязвимости.

9. Acunetix – предоставляет веб-сканер для обнаружения уязвимостей в веб-приложениях и предоставляет детальные отчеты о безопасности.

10. SolarWinds Security Event Manager – решение для управления журналами и мониторинга безопасности, обнаруживающее и реагирующее на аномалии в сети.

Эти программные продукты помогают организациям оценивать риски информационной безопасности, обнаруживать уязвимости и обеспечивать более надежную защиту от потенциальных угроз.

Однако важно помнить, что оценка рисков – это не статичный процесс, а непрерывный цикл, который требует постоянного обновления и адаптации к изменяющимся условиям и угрозам.

### Список литературы

1. Максименко, В. Н. Основные подходы к анализу и оценке рисков информационной безопасности / В. Н. Максименко, Е. В. Ясюк // Экономика и качество систем связи. – М. : Изд-во ЗАО «Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий». – 2017. – Вып. 2(4). – С. 42 – 48.

2. Оценка рисков кибербезопасности АСУ ТП промышленных объектов на основе вложенных нечетких когнитивных карт / В. И. Васильев, А. М. Вульфин, М. Б. Гузаиров и др. // Информационные технологии. – 2020. – Вып. 4. – С. 213 – 221.

3. Янников, И. М. Особенности реализации системы оценки защищенности критически важных и потенциально опасных объектов на основе метода Клементса–Хоффмана / И. М. Янников, М. В. Телегина // Интеллектуальные системы в производстве. – 2018. – Вып. 4, Т. 16. – С. 169 – 175.

*Кафедра «Информационные системы и защита информации»  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*М. А. Любавина\**

## **ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ТРЕНИРОВКИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ ШКОЛЬНИКОВ**

Технический проект «Создание Приложения для зрительной гимнастики» (далее – Приложение) посвящен актуальному вопросу нагрузки глаз при необходимой работе с мобильными гаджетами, таким как телефон, планшет. В работе рассматриваются такие факторы как: причина ухудшения зрения, дополнительные рекомендации, позволяющие предотвратить возможное ухудшение зрения, разбор способа создания приложения, а также ставится проблема активного ухудшения зрения у школьников младших классов. По статистике около 50% детей после окончания третьего класса уже имеют проблемы со зрением. Данная тема чрезвычайно актуальна в последние годы, когда в мобильных устройствах находится множество различной полезной информации, необходимой школьникам для обучения. Особенно стоит отметить учебу в удаленном формате, когда все внимание сосредоточено именно на гаджетах.

Продукт был выполнен с помощью технологии ZEROCODE, он же LOWCODE и NOCODE. ZEROCODE – среда, в которой при помощи графического интерфейса создаются те или иные продукты без надобности использования навыков программирования.

Воспользовавшись данной методикой были выделены наиболее удобные и отличающиеся от привычного процесса программирования особенности:

- с помощью методики ZEROCODE можно выполнить многие задачи, достаточно обучения с помощью профессиональных курсов в интернете (в том числе доступных бесплатных ресурсов);
- в отличие от написания кода, возникает намного меньше ошибок, соответственно экономится время создания приложения;
- важной частью разработки «без кода» является то, что недостающие функции можно всегда исполнить, написав дополнительно код. Тем не менее, это не всегда обязательно и можно найти альтернативу непосредственно в самой среде;
- возможность реализовать свою идею без опыта в программировании. Этот способ помогает в тех ситуациях, когда нет желания или возможности прибегнуть к услугам профессионалов. Однако есть

---

\* Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» Т. А. Фроловой.

и минусы. Они были выделены исходя из опыта других людей, так как все потребности в разработке данного проекта были выполнены;

- сложные проекты все еще не могут реализоваться на должном уровне. В этом случае всегда требуются люди, понимающие систему создания приложений без графических конструкторов;

- среда ZEROCODE мало подходит для крупных проектов за счет поддержания безопасности. Здесь, опять же, потребуются грамотно обученные специалисты.

В качестве инструмента для разработки был выбран сервис GLIDE. Он, в первую очередь, основан на GOOGLE SHEETS и основная работа заключается в заполнении таблиц, которые соответствуют нижним ярлыкам в самом приложении. Разобраться в устройстве работы GLIDE довольно просто. Даже при первичной постановке задач в таблицах очень сложно совершить какую-либо ошибку. В этом же сервисе производится работа над визуальной частью. Имеется возможность выбрать один из множества бесплатных шаблонов, либо начать работу с нуля. Работа над данным проектом начиналась с нуля, так как это намного эффективнее помогло разобраться с техникой работы GLIDE.

Стоит отметить, что разработка предусматривается сразу под две операционные системы – ANDROID и IOS.

Кроссплатформенность – возможность работы в разных операционных системах. Это гораздо экономит время разработки. Главными плюсами кроссплатформенности являются: расширение пользовательской базы за счет появления приложения одновременно в нескольких магазинах; код избавляет вас от необходимости нанимать нескольких разработчиков для каждой платформы; 75% кодовой базы кроссплатформенного приложения можно использовать повторно, адаптируя ее для новых проектов.

Структура Приложения включает в себя: выбор упражнений на предстоящий день, описание каждого упражнения (необходимо для ознакомления с гимнастикой), расписание упражнений и время их выполнения.

Создание Приложения началось с заполнения таблиц. Для этого было необходимо создать единую таблицу. Изначально в ней присутствовало 3 листа, которые, как было сказано ранее, соответствовали нижним ярлыкам в приложении. Далее происходило заполнение содержания ярлыков. В ярлыке под названием «Расписание» присутствуют временные промежутки выполнения упражнений. По мнению врачей, 5 раз в день необходимо для сохранения зрения. В ярлыке под названием «Упражнения» представлены все имеющиеся в ярлыке «Расписание» упражнения с их описанием. В нем же присутствует функция «Добавить в избранное», что позволяет выделить для себя особо понравившиеся в выполнении упражнения.

Viewing as mihailbabavlad@mail.ru											
Расписание											
A	Время	Картинка	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A Начало	A Детали	О упр 1	О упр 2
1	Утренняя разминка		Моргание	Перемещение взгляда	Восьмерки	Давление		Утренняя разминка	Рекомендуемое время с 6:00 до 10:00	Моргание	Перемещени
1	Дневная разминка 1		Массаж	Сквозь пальцы	Вращение			Дневная разминка 1	Рекомендуемое время с 10:00 до 13:00	Массаж	Сквозь паль
1	Дневная разминка 2		Восьмерки	Давление				Дневная разминка 2	Рекомендуемое время с 13:00 до 16:00	Восьмерки	Давление
1	Вечерняя разминка		Близко-далеко	Матнинг	Моргание			Вечерняя разминка	Рекомендуемое время с 16:00 до 19:00	Близко-далеко	Матнинг
1	Разминка перед сном		Закмуривание	Перемещение взгляда	Буравы	Расслабление	Близко-далеко	Разминка перед сном	Рекомендуемое время с 19:00 до 22:00	Закмуривание	Перемещени
+ New row											

Рис. 1. Рабочая таблица

Label

Column Type

---

**CONFIGURATION**

Relate to items where the value in:

Matches the value in:

Match multiple

Рис. 2. Блок названия

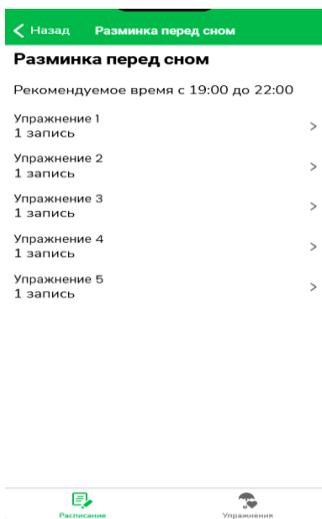
Внешний вид рабочего пространства над приложением имел вид таблицы с необходимыми заполненными ячейками (рис. 1).

Подключение названия к блоку упражнений проиллюстрировано на рис. 2.

Для удобства в использовании, а также сохраняемости места на экране, была добавлена функция перехода к другой вкладке, демонстрирующей пользователю описание упражнения, которое предстоит выполнить. В качестве продукта было получено фундаментальное приложение, которое планируется расширять, в первую очередь, за счет написания полноценного кода.

Пример изображения предлагаемых этапов упражнений в готовом приложении (рис. 3).

В будущем будут добавлены уведомления, позволяющие не забывать о гимнастике. На данном этапе подобную функцию не удалось реализовать ввиду неполной доступности функционала среды разработки.



**Рис. 3. Основной список**

Также планируется провести эксперимент, который будет являться вспомогательным ресурсом для предстоящих обновлений. Он заключается в определении временных рамок, за который можно точно определить желаемый результат по профилактике зрения.

### **Список литературы**

1. Делюкина, Е. Стартап Glide [Электронный ресурс] / Е. Делюкина. – URL : <https://vc.ru/services/151954-startap-glide-sozdaet-mobilnye-prilozheniya-iz-google-tablic-bez-koda-i-navykov-programmirovaniya>
2. Статья центра офтальмологии и оптики «Упражнения для глаз» [Электронный ресурс]. – URL : <https://moscow.krugozor-clinic.ru/poleznaya-informacziya/zaryadka-dlya-glaz/>
3. Фролов, С. В. Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.
4. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врачи и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

*Кафедра Биомедицинская техника ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*А. О. Назарова, И. Н. Федорчук\**

## **РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ЭКГ ДАННЫХ**

Современный ритм жизни требует от нас быстрого принятия решений, связанных с нашим здоровьем. Однако люди не всегда способны оценить свои возможности и потребности правильно, особенно когда речь идет о физическом и эмоциональном состоянии. В этом случае система поддержки принятия решений на основе биологической обратной связи может стать надежным помощником.

Данные системы могут быть полезными для людей, которые ведут активный образ жизни, либо страдают хроническими заболеваниями и имеет проблемы со здоровьем. Такие системы могут помочь людям принимать более осознанные решения, отказаться от физических нагрузок при повышенном сердечном ритме или сменить режим дня при усталости и стрессе. Их основное предназначение – снижение вероятности развития хронических заболеваний в результате длительного сильного стресса.

В данной статье рассматривается концепция системы, состоящей из поверхностных датчиков регистрации электрических сигналов и мобильного устройства, которая позволяет получать информацию о состоянии организма в режиме реального времени и на ее основе принимать решения [1]. В ходе работы поставлена задача управления мобильными системами совместно с методами электрофизиологии, отличающаяся использованием биологической обратной связи для формирования управляющих воздействий.

Электрокардиография (ЭКГ) – это неинвазивный метод исследования сердечного ритма с помощью регистрации разности электрических потенциалов, возникающих в процессе его работы. Измерение сигналов ЭКГ содержит принцип отслеживания вектора и силы электрических токов, которые создают сердечные мышцы человека в процессе работы.

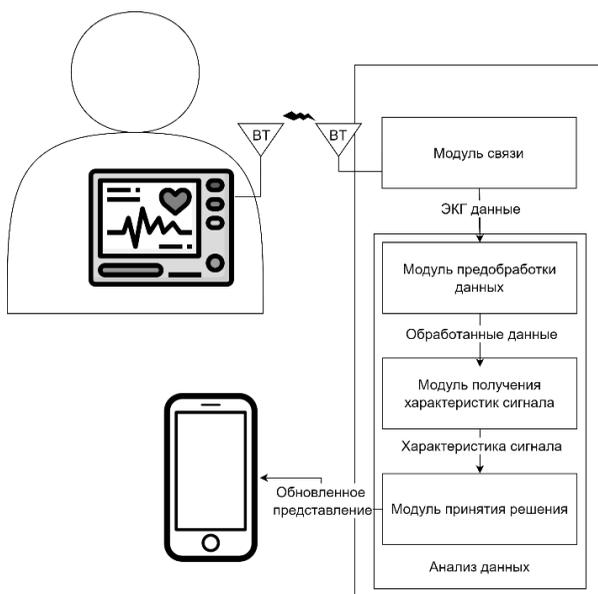
Далее следует описать назначение системы биологической обратной связи (БОС). Данная система – это инструмент для управления стрессом и тренировки релаксации, который позволяет людям научиться регулировать свою физиологическую активность, чтобы

---

\* Работа выполнена под руководством доктора технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. В. Обухова.

восстанавливать или поддерживать вегетативный баланс. Основной способ применения БОС – это обучение и отработка навыков саморегуляции для контроля аффективных, биологических, а также поиск оптимального состояния организма. Для человека процесс освоения этих навыков заключается в двух этапах: распознавания, т.е. определения биологического сигнала благодаря собственному восприятию; саморегуляции посредством применения методов восстановления биологических показателей. Основной целью таких систем является борьба со стрессом. Достигается это благодаря контролю дыхания и концентрации. Таким образом, стабильность и регуляция вегетативной нервной системы может точно и объективно отражать изменения психики человека, в то время как вариабельность сердечного ритма может отражать функцию вегетативной нервной системы человека.

На рисунке 1 показан прототип автономной системы диагностики стресса, которая использует Bluetooth для интеграции устройства ЭКГ с мобильными устройствами для мониторинга ЭКГ.



**Рис. 1. Прототип автономной системы диагностики стресса**

Система состоит из нескольких модулей, перечисленных далее.

Программно-аппаратный модуль ЭКГ холтера – устройство, которое предназначено для сбора данных о сердцебиении человека. На данный момент сбор данных осуществляется по стандартным

двухполюсным отведениям, метод был предложен в 1913 г. Эйнтховеном [2]. Данный метод фиксирует разность потенциалов между двумя точками электрического поля, удаленными от сердца и расположенными во фронтальной плоскости конечностей. Для записи отведений электроды накладывают на правую руку, левую руку и левую ногу.

Модуль связи обеспечивает связь между мобильным телефоном и ЭКГ устройством через Bluetooth. Основной задачей данного модуля является контроль за корректным подключением устройства во время регистрации данных, а также непосредственно передача данных.

Модуль предобработки данных необходим для обработки всех биоэлектрических сигналов, поскольку исходные данные содержат шумы и артефакты, вызванные электрическими помехами, движением человека и т.д., которые способны исказить результаты при выполнении последующих ступеней анализа данных. При очистке данных стоит учитывать, что методы обработки могут достаточно эффективно удалять лишние частоты, однако, их использование связано с высокой стоимостью вычислений, что затрудняет работу таких алгоритмов в реальном времени. При проведении анализа существующих алгоритмов был выбран фильтр, базирующийся на «Разложение по сингулярным значениям» (SVD – singular value decomposition), который может эффективно разлагать сигналы на отдельные компоненты, сохраняя при этом важные характеристики, и поэтому часто используется для удаления шума во время обработки сигналов.

Модуль извлечения характеристик сигнала предназначен для обнаружения стресса. Для извлечения признаков рекомендуется применять вейвлет-преобразование [3], как более современный (при сравнении с Фурье-преобразованием) метод извлечения частотно-временных характеристик. Одной из главных задач вейвлет-анализа является выбор материнского вейвлета. В случае с данными ЭКГ наиболее подходящим выбором будет вейвлет Морле. Затем строится вейвлет-скалограмма, которая позволяет визуализировать распределение мощности в ЭКГ сигнале по времени и частоте. Такой подход позволяет выявить изменения в частотных характеристиках сигнала во времени, например, для обнаружения периодических паттернов и аномалий.

Модуль принятия решения занимается формированием биологической обратной связи в мобильной системе на основе метода анализа иерархий. Для разработки данного модуля необходимо привлечение экспертов в области электрокардиографии. В этом методе эксперты оценивают критерии и альтернативы по шкале относительной важно-

сти, а затем алгоритмические методы используются для вычисления общей важности каждой альтернативы. Этот метод позволяет учитывать не только математические факторы, но и экспертное мнение, что делает его полезным в случаях, когда решение зависит от многих факторов и может быть неоднозначным.

В заключении формирования управляющей реакции, на основе принятого решения, управляющие реакции в системах с биофидбеком представляются каким-либо способом: звуковым сигналом; визуальным индикатором; тактильным сигналом.

Таким образом, виртуальный тренажер с биологической обратной связью адаптируется к текущему состоянию пользователя, что делает его системой, способной подстраиваться под потребности каждого отдельного пользователя. Дальнейшие исследования будут направлены на создание модулей, которые будут собирать, обрабатывать и анализировать медицинские данные о физиологических сигналах человека для более точной адаптации виртуального тренажера под индивидуальные особенности каждого пользователя. Также дальнейшей областью развития является совершенствование устройства ЭКГ для дальнейшего преобразования его в холтер – устройство для продолжительной записи ЭКГ данных.

### Список литературы

1. Chiang H. S. Ecg-based Mental Stress Assessment Using Fuzzy Computing and Associative Petri Net //Journal of Medical and Biological Engineering. – 2015. – Т. 35. – С. 833 – 844.
2. Zhao P. J. Einthoven's Triangle Revisited: A Mathematical Proof // arXiv preprint arXiv:2205.06772. – 2022.
3. Алгоритм извлечения признаков и удаления шума электрокардиосигнала на основе вейвлет-преобразования / К. Б. Касымбекова и др. // Проблемы современной науки и образования. – 2017. – № 7(89). – С. 112 – 116.

*Кафедра «Системы автоматизированной поддержки  
принятия решений» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*П. Н. Никулин, Н. В. Земцова\**

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ**

**Введение.** Повышение надежности эксплуатации кабельных электрических сетей является актуальной научной задачей, для решения которой необходимо создавать автоматизированные комплексы анализа сопротивления изоляции. Мониторинг состояния сопротивления изоляции кабельных линий является высокоэффективным инструментом прогнозирования начинающейся деградации изоляции, позволяющим избежать аварийных ситуаций, что является не только значимой технической задачей, но и носит принципиальное экономическое значение. Для решения задачи мониторинга состояния изоляции силовых кабелей требуется разработка автоматизированного аппаратно-программного комплекса.

Усовершенствованная технология технического обслуживания кабельных линий играет важную роль в обеспечении надежной работы сети электроснабжения. Электрическая сеть работает на обширных географических территориях круглосуточно и без выходных и поэтому подвержена различным эксплуатационным и техногенным нагрузкам. Распределительная сеть является наиболее интерактивной частью сети поставок, и большое количество сбоев возникает из-за компонентов распределительной сети [1]. Поэтому сетевые компании и поставщики электрической энергии постоянно ищут подходящие решения для повышения надежности компонентов и бесперебойности электропитания потребителей.

Развитие нового поколения электрических сетей, к которым относятся активно-адаптивные электрические сети (smart-grid), связано с получением и распространением инновационных технологий диагностики и анализа информации. По причине износа диэлектрической изоляции кабелей и электротехнического оборудования возможны аварийные ситуации, а также повышенные потери электрической энергии (диэлектрические потери) [2,3].

**Теория вопроса.** Диэлектрическая изоляция является наиболее важной частью, которая спроектирована в соответствии с общепринятыми стандартными спецификациями и практиками и обеспечивает устойчивость к вероятным уровням нагрузки в течение ожидаемого срока службы силовых кабельных линий.

---

\* Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. В. Щеголькова.

В нештатных ситуациях в изоляции могут возникнуть дефекты, которые вызывают повышенную скорость износа, прогрессируют со временем и, в конечном итоге, приводят к выходу компонентов из строя до истечения срока их службы [3]. По своей природе дефекты изоляции являются зарождающимися, и поэтому можно предпринять профилактические меры по техническому обслуживанию, исходя из текущего состояния изоляции. Снижение сопротивления изоляции является признаком и одновременно причиной ухудшения изоляции. Мониторинг сопротивления является ценным инструментом для получения понимания состояния изоляции, что требует точной системы измерения и методики для обработки получаемых данных.

**Автоматизированный аппаратно-программный комплекс.** Автоматизированный аппаратно-программный комплекс [4] позволит: сократить время проведения диагностики; систематизировать полученные данные; минимизировать погрешность измерений; прогнозировать срок службы и время вывода электрооборудования в ремонт.

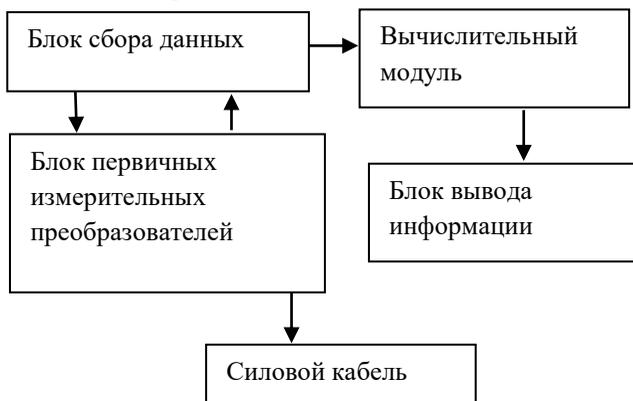
В разрабатываемом автоматизированном аппаратно-программном комплексе используются измерительные провода большой длины (до 50 м). Учет влияния длины измерительных проводов осуществляется с помощью компенсации электрофизических параметров, связанных с длиной (паразитная емкость, индуктивность) на основе алгоритмов нейронных сетей, которые предварительно обучены на подобных ситуациях и позволяют значительно снижать как стохастическую, так и систематическую погрешность измерений. Снижается время измерения и имеется возможность измерения в различных точках силового кабеля (до 30 точек замера).

На рисунке 1 показан внешний вид некоторых приборов, входящих в автоматизированный комплекс.



**Рис 1. Внешний вид некоторых приборов, входящих в автоматизированный комплекс**

Блок-схема автоматизированного аппаратно-программного комплекса представлена на рис. 2.



**Рис. 2. Блок-схема автоматизированного аппаратно-программный комплекс**

Для эффективного функционирования программное обеспечение для автоматизированного аппаратно-программного комплекса написано на языке C++. При этом информация, полученная при измерении сопротивления, хранится в памяти прибора и автоматически обрабатывается в вычислительном модуле, что позволяет динамически отслеживать различные типы процессов в изоляции электрооборудования.

**Выводы.** Автоматизированные комплексы для измерения параметров диэлектрической изоляции могут быть использованы в различных типах электрических сетей и обеспечить своевременный сбор данных для оценки текущего состояния, а также прогнозирования возможных ситуаций при эксплуатации кабельных линий. Следует отметить возможность изменения конфигурации аппаратной части автоматизированного комплекса, а также формирования программного обеспечения под определенные типы технологических задач.

### Список литературы

1. Georgilakis, P. S. A review of power distribution planning in the modern power systems era: Models, methods and future research / P. S. Georgilakis, N. D. Hatziaargyriou // *Electric Power Systems Research*. – 2015. – Т. 121. – С. 89 – 100.
2. Степанов, А. Г. Оценка и прогнозирование состояния изоляционной системы силовых трансформаторов магистральных электрических сетей : дис. ... канд. техн. наук / А. Г. Степанов // Защищена в Красноярском ГТУ, 2005.

3. Schwarz, R. Modern technologies in optical partial discharge detection / R. Schwarz, M. Muhr // 2007 Annual Report-Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. – IEEE, 2007. – С. 163 – 166.

4. Евдокимова, С. Ю. Автоматизированный комплекс для экспресс-анализа электрофизических параметров диэлектрической изоляции / С. Ю. Евдокимова, Н. В. Земцова, А. В. Щегольков // Энергетика будущего – цифровая трансформация : сб. тр. III Всерос. науч.-практ. конф., Липецк, 14–15 декабря 2022 года. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2022. – С. 233 – 235.

*Кафедра «Электроэнергетика» ФГБОУ ВО «ЛГТУ»*

**УДК 004.9**

*А. А. Волков, К. И. Патунин*

## **СТРУКТУРА ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ АНАЛИЗА ПРОТОКОЛОВ ИСПЫТАНИЙ**

Цифровые технологии прочно вошли в повседневную жизнь человека. Повсеместное распространение компьютеров и широкая доступность глобальной сети Интернет привели к тому, что для многих цифровое пространство стало неотъемлемой частью существования. Информатизация затронула все области человеческой деятельности, от работы до повседневного общения. Не стала исключением и сфера образования и профессиональной подготовки. Существует множество различных цифровых технологий для повышения качества и эффективности образовательного процесса, начиная от простейших систем тестирования и заканчивая целыми учебными курсами, целиком и полностью проводимыми на цифровых площадках.

Одним из примеров технологий являются виртуальные тренажерные комплексы, которые позволяют наиболее наглядно и доступно предоставлять информацию пользователю, когда речь идет о взаимодействии с окружающей средой. Виртуальные тренажеры, в отличие от классических лекционных или даже видеоматериалов, не только описывают и демонстрируют происходящее, но и позволяют обучаемому принимать непосредственное участие в процессе решения поставленной задачи, подобно компьютерным играм погружая пользователя в необходимые условия [1].

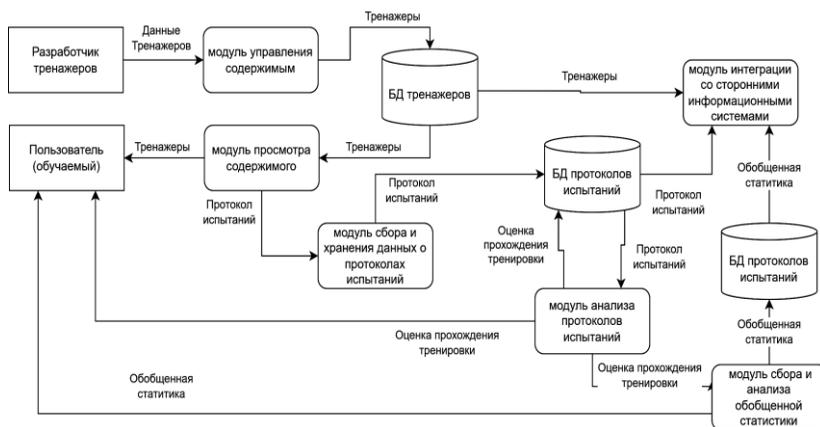
Наиболее полного погружения позволяет достичь применение систем виртуальной и дополненной реальности, а также специализированного дополнительного оборудования, такого как различные беговые платформы и устройства ввода, имитирующие реальное оборудование. Недостатком же подобных решений является необходимость приобретения дорогостоящего оборудования, что значительно сужает возможности их применения. Более простой вариант виртуальных тренажеров – трехмерные графические приложения, рассчитанные под использование стандартного монитора и периферии [2, 3]. Используя современные интернет-технологии, такие тренажеры можно предоставлять пользователю через веб-браузер, что позволит, с одной стороны, избежать необходимости установки дополнительного ПО на компьютер пользователя, а с другой стороны – разработчикам оперативно обновлять тренажеры в соответствии с меняющимися образовательными программами и стандартами.

В рамках данной работы рассматривается структура и основные компоненты онлайн-платформы, предназначенной для размещения подобных тренажеров. Предлагаемая платформа позволяет решать следующие задачи: организация непрерывного доступа к виртуальным тренажерам посредством сети интернет для конечных пользователей; облегчение поддержки актуальности содержимого тренажеров для разработчиков; автоматизированный анализ протоколов испытаний для конечных пользователей, инструкторов и разработчиков образовательных программ. Платформа может применяться как в качестве самостоятельного решения, так и в качестве внешнего модуля, подключаемого в сторонние образовательные порталы и ресурсы.

Предлагаемая платформа включает в себя несколько основных модулей: модуль просмотра содержимого (пользовательский интерфейс для обучаемого), модуль управления содержимым (интерфейс для разработчика тренажеров), модуль сбора и хранения данных о протоколах испытаний, модуль анализа протоколов испытаний, модуль сбора и анализа обобщенной статистики и модуль интеграции со сторонними информационными системами. Рассмотрим более подробно каждую из перечисленных подсистем. Возможная структурная схема предлагаемой системы представлена на рис. 1.

Модуль просмотра содержимого реализует пользовательский интерфейс для обучаемого. Данный интерфейс включает в себя следующие страницы: страницу регистрации и авторизации обучаемого, каталог доступных тренажеров, историю тренировок данного пользователя, а также страницу для отображения самого тренажера. Также данный модуль отображает пользователю информацию от модуля анализа протоколов испытаний.

Модуль управления содержимым представляет собой интерфейс для разработчика виртуальных тренажеров. Он включает в себя страницы регистрации и авторизации разработчика, панель управления загруженными тренажерами, страницу просмотра статистики по использованию тренажеров. Панель управления виртуальными тренажерами реализует возможность создания, редактирования и удаления тренажеров и их версий, а также функционал по управлению доступом к тренажерам и их версиям. Дополнительно в состав данной подсистемы входит страница для просмотра статистики по использованию тренажеров.



**Рис. 1. Возможная структурная схема онлайн-платформы**

Модуль сбора и хранения данных о протоколах испытаний представляет собой базу данных протоколов, а также унифицированный интерфейс (API) для получения информации о прохождении тренировки от самих виртуальных тренажеров. Для корректной работы системы разработчикам тренажеров необходимо реализовать данный API на своей стороне. Проектирование данного интерфейса является одной из ключевых задач, решаемых при создании платформы, поскольку от качества собранных данных будет зависеть адекватность дальнейшего анализа и корректность результатов оценки прохождения испытаний.

Модуль анализа протоколов испытаний извлекает информацию о конкретной тренировке из базы данных протоколов и производит качественную и количественную оценку выполнения упражнения. Полученные метрики сохраняются обратно в базу данных протоколов испытаний. Модуль сбора и анализа обобщенной статистики принимает на вход результаты работы модуля анализа протоколов, выполняет

их агрегацию и сохраняет результаты в базу данных обобщенной статистики.

Для обучаемого строится динамика изменения показателей во времени для каждого тренажера, что позволяет выявить «слабые места» в знаниях и навыках пользователя по отработке данного сценария. Для разработчиков тренажеров и образовательных программ рассчитываются обобщенные показатели прохождения конкретных тренажеров, что позволяет разработчикам тренажеров выявить недочеты или неточности в реализации сценариев, а разработчикам образовательных программ определить наиболее сложные для пользователей аспекты при прохождении обучения.

Модуль интеграции со сторонними информационными системами реализует возможности по встраиванию виртуальных тренажеров, размещенных на платформе, в уже существующие решения от различных образовательных организаций. Данный модуль включает в себя специальные страницы для встраивания на сторонние ресурсы, подсистему управления доступом из внешних источников, а также программный интерфейс (API) для передачи результатов тренировки в виде протоколов испытаний, результатов анализа отдельных протоколов или же итоговой обобщенной статистики.

Предлагаемая онлайн-платформа позволяет повысить качество и эффективность обучения путем применения виртуальных тренажеров, а также снизить вероятность ошибок при обработке протоколов испытаний, связанных с человеческим фактором, путем внедрения механизмов автоматизированного анализа.

### Список литературы

1. Грибова, В. В. Обучающие виртуальные системы и средства их создания / В. В. Грибова, Л. А. Федорищев // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012. – № 3. – С. 48 – 51.
2. Гордиенко, Е. П. Виртуальные тренажеры как современные обучающие средства / Е. П. Гордиенко // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-2021). – 2021. – С. 38 – 40.
3. Виртуализация лабораторного стенда / И. Л. Коробова и др. ; под общ. ред. О. В. Миловзорова // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2021 : сб. тр. IV Междунар. науч.-техн. форума : в 10 т. Т. 9. – Рязань : Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2021. – 256 с., с. 27.

*Кафедра «Системы автоматизированной поддержки принятия решений» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 621.91.01

*А. А. Минин\**

**МУРАВЬИНЫЕ АЛГОРИТМЫ В ПРОЕКТИРОВАНИИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДЕТАЛЕЙ  
ТИПА «ПОЛЫЕ ЦИЛИНДРЫ»**

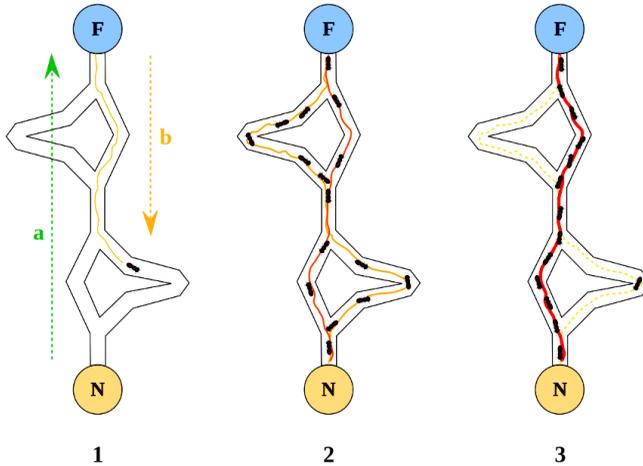
Данная работа представляет задачу проектирования технологического процесса детали типа «полый цилиндр» посредством решения задачи оптимизации теорией муравьев. В работе предлагается алгоритм автоматического формирования и выбора оптимального варианта технологического процесса детали с помощью колонии муравьев, строящих маршруты обработки между графами операций, с закрепленными за ними базами данных свойств технологических операций.

Идея муравьиного алгоритма – моделирование поведения муравьев, связанного с их способностью быстро находить кратчайший путь от муравейника к источнику пищи и адаптироваться к изменяющимся условиям, находя новый кратчайший путь. При своем движении муравей метит путь феромоном, и эта информация используется другими муравьями для выбора пути. Это элементарное правило поведения и определяет способность муравьев находить новый путь, если старый оказывается недоступным [1].

Рассмотрим случай, показанный на рис. 1, когда на оптимальном, до определенного места, пути возникает преграда. В этом случае необходимо нахождение нового оптимального пути. Дойдя до преграды, муравьи с равной вероятностью будут обходить ее справа и слева. То же самое будет происходить и на обратной стороне преграды. Однако, те муравьи, которые случайно выберут кратчайший путь, будут быстрее его проходить, и за несколько передвижений он будет более наделен феромоном.

---

\* Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. А. Немтинова.



**Рис. 1. Движение муравьев**

Поскольку движение муравьев определяется концентрацией феромона, то следующие будут предпочитать именно этот путь, продолжая обогащать его им до тех пор, пока этот путь по какой-либо причине не станет недоступен.

Положительная обратная связь приводит к тому, что большая часть муравьев будет идти по короткому маршруту, а моделирование испарения феромона – отрицательной обратной связи – гарантирует нам, что найденное локально оптимальное решение не будет единственным – муравьи будут искать и другие пути. Если мы моделируем процесс такого поведения на некотором графе, ребра которого представляют собой возможные пути перемещения муравьев в течение определенного времени, то наиболее обогащенный феромоном путь по ребрам этого графа и будет являться решением задачи, полученным с помощью муравьиного алгоритма. [2]

Общий муравьиный алгоритм состоит из следующих этапов.

#### 1. Создание муравьев.

Стартовая точка, куда помещается муравей, зависит от ограничений, накладываемых условиями задачи. На этом же этапе создается начальный феромон, после чего он инициализируется некоторым небольшим положительным значением, чтобы на начальном шаге вероятности перехода в следующую вершину не были нулевыми.

#### 2. Поиск решения.

Вероятность того, что из вершины  $i$  в вершину  $j$  произойдет переход муравья, определяется по формуле:

$$P_{ij}(t) = \frac{\tau_{ij}(t)^\alpha \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)^\beta}{\sum_{j \in N} \tau_{ij}(t)^\alpha \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)^\beta},$$

где  $\tau_{ij}(t)$  – уровень феромона;  $d_{ij}$  – эвристическое расстояние;  $\beta, \alpha$  – константные параметры;  $N$  – число узлов. При  $\alpha = 0$  выбор ближайшего города наиболее вероятен, т.е. алгоритм становится жадным. При  $\beta = 0$  выбор происходит только на основании феромона, что приводит к субоптимальным решениям, поэтому необходим компромисс между этими величинами, который находится экспериментально.

### 3. Обновление феромонов

Уровень феромона обновляется по формуле:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k \in M} \frac{Q}{L_k(t)},$$

где  $\rho$  – интенсивность испарения гормона;  $L_k(t)$  – затрачиваемая энергия муравья при решении пути  $k$ ;  $Q$  – параметр, имеющий значение порядка энергии оптимального варианта решения, а значит  $\frac{Q}{L_k(t)}$  – феромон, откладываемый  $k$ -м муравьем, использующего ребро  $(i, j)$ .

### 4. Локальный поиск решений.

В большинстве случаев применения муравьиных алгоритмов в этом пункте используется алгоритм локального поиска выбора решений, но он может также использоваться и после поиска всех решений муравьев.

Подытожив все приведенные выше пункты, можно выделить подобный алгоритм действия программы, строящей технологический процесс:

Этапы решения задачи определения маршрута обработки детали типа «полый цилиндр» при помощи муравьиных алгоритмов.

1. Считать чертеж детали.
2. Привести типовой маршрут обработки детали типа «полый цилиндр».
3. Представить типовой маршрут как набор неориентированных графов, на основе которых муравьи будут строить решения.
4. Определить значение феромона.

5. Определить поведение муравьев и при возможности осуществить локальный поиск решения.

6. Перевести маршрут движения муравьев между графами в последовательность операций технологического процесса.

7. Вывести полученный текстовый документ на печать.

Если приложить вышеизложенный алгоритм действий на непосредственно проектирование будущего производственного цикла, то получаем следующие необходимые данные:

1. Считывание чертежа детали возможно несколькими способами: считывание технологического кода или через таблицу кодированных сведений детали. Ввод чертежа детали и оформление документации являются общими этапами для всех методик проектирования технологических процессов в САПР и здесь не рассматриваются.

2. Типовой маршрут изготовления детали «Втулка» приведен в приложении.

3. Структура ТП может быть рассмотрена на уровне маршрута, уровне операции и уровне перехода. На каждом уровне структура процесса выражается в виде направленного графа.

*На уровне маршрута* граф структуры – это граф, у которого вершины отображают операции, а дуги – отношения между операциями. В качестве отношения, отражающего последовательность выполнения операций, выбрано отношение следования, обозначаемое следующим образом:  $a \rightarrow b$  или  $b \leftarrow a$  (за элементом  $a$  следует элемент  $b$ ).

Следование является антирефлексивным, антисимметричным, анитранзитивным отношением. Антирефлексивность: за какой-то операцией не может следовать та же самая операция, т.е. выражение  $a \rightarrow a$  является ложным. Антисимметричность: последовательность операций менять нельзя, т.е. если указано  $a \rightarrow b$ , то выражение  $a \leftarrow b$  является ложным. Анитранзитивность; операции пропускать нельзя, т.е. если  $a \rightarrow b$  и  $b \rightarrow c$ , то отсюда не следует, что  $a \rightarrow c$ .

Граф с указанным отношением называется **графом следования** на уровне маршрута, например, для механической обработки детали характерен линейный граф (объект воздействия один и заготовка последовательно обрабатывается, начиная с операции  $O_1$  до  $O_n$ ):

Запись в маршрутной технологической карте, по сути, отражает граф следования.

*Структура перехода* – это граф, вершинами которого являются рабочие ходы (подвести сверло, выполнить сверление, отвести сверло из отверстия), а отношения между ними – отношения следования. Структура перехода обычно линейна, так как связана обычно с одним инструментом или блоком инструментов.

4. На этом этапе формируются все возможные варианты тех. процесса, которые способны выстроить муравьи между базами данных типовых процессов. Уравнения по поиску решений и обновления феромона приведены выше.

5. Все варианты полученных процессов обязательно необходимо ограничить. Критерии ограничения – модели станков, задействованных в производстве в данный момент (их мощности, инструмент и габаритные размеры обрабатываемых изделий), и следующие технологические показатели, выдерживание которых обеспечивает годность детали: ограничения по мощности привода, по стойкости режущего инструмента, ограничение по жесткости системы, по шероховатости обработанной поверхности

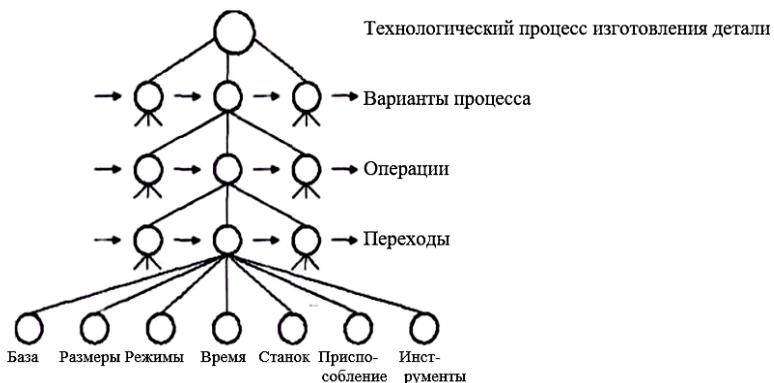
Далее в 6-м и 7-м пунктах происходит перевод из расчетной части в текстовую, после чего текст переносится на шаблоны маршрутных карт и прочей технологической документации, принятой на заводе-изготовителе с последующей отправкой на печать.

Для ориентации колонии муравьев поместим их на свободное поле графов. Каждый граф несет в себе информацию о виде операции механической обработки заготовки. Задача колонии связать нужные графы, чтобы в итоге вырисовался алгоритм обработки, оптимизированный по критериям затрат времени, подходящий к имеющемуся оборудованию и всем требованиям конструкторской документации – механические, физические свойства готовой детали, выдерживание всех линейных и диаметральных размеров. Принцип и модель движения и ориентации колонии муравьев в свободном поле неориентированных графов: Феромон, по которому ориентируются муравьи, распределяется на ребрах графов. При этом, чем короче длина по финальному алгоритму (будущему тех. процессу мех. обработки) рассматриваемого ребра графа – тем больше муравьев пойдут по данному пути, следовательно, включать этот узел операции в синтез будущего выбора тех. процесса. После выбора колонией большого объема разных версий решения задачи, они будут отсеиваться технологическими критериями процессов формообразования детали в динамике и статике.

Теперь, разобравшись с теорией моделирования поведения колонии муравьев, приведем базу знаний по тому, из чего будет состоять поле, в котором будет происходить поиск решений, какую информацию будут нести графы, отвечающие за будущие операции.

Технологический процесс, как объект проектирования, можно представить в виде иерархической структуры, включающей несколько взаимосвязанных уровней. В результате такой декомпозиции процесс проектирования ТП сводится к решению задач различной степени

детализации: от формирования маршрута обработки до разработки управляющих программ и расчета режимов резания при обработке отдельных поверхностей.



**Рис. 2. Технологический процесс как объект проектирования**

Подготовка базовых элементов для проектирования.

Полый цилиндр – деталь вращения, характерными чертами этой детали является обязательное наличие параметров: высота, диаметр наружный, диаметр внутренний или толщина стенки; все остальные геометрические параметры относятся к частным случаям. Примером такой детали является втулки, гильзы, обоймы и т.д. Детали данного типа могут различаться по нескольким классификаторам, таким как: габаритные размеры и вес, материал, количество партии. Для удобства подбора моделей станков для механической обработки вводится классификация по габаритам обрабатываемой детали. Следующая классификация, которая влияет на сущность и порядок операций мех. Обработки, – это материал заготовки и ее форма сечения.

Самая наглядная деталь из типа «полые цилиндры» – втулка. С технологической точки зрения, вся обработка на металлорежущем станке – токарные операции. Задача муравьев после считывания чертежа и анализа входных данных о детали и ее материале – прийти к самому оптимальному пооперационному маршруту обработки детали, манипулируя режимами резания, подбором правильного оборудования и приспособлений, инструмента, сокращающего машинное время; при этом выдерживая поставленные чертежом требования.

Создается поле неориентированных графов на всевозможные конструкторские исполнения втулок. При считывании чертежа отбрасываются ненужные графы с лишними операциями, которые не преду-

смотрены в чертеже. По имеющимся вводным данным с чертежа и разбивке по классификациям, изложенным выше производится синтез маршрута операции, расчет режимов резания и нормы времени, подборка инструмента и модели станка. Поскольку каждое производство уникально по имеющемуся оборудованию, по типу производства, размерам партий и т.д., предоставим задачу подбора станков в финальный этап подбора решений.

Самым главным правилом при подборе и выборе порядка операций является правило: Между переходами и параметрами поверхности существует связь, описываемая функцией  $M_i: P_i \rightarrow P_{i+1}$ , т.е. поверхность с параметрами более низкого качества  $P_i$  преобразуется в поверхность с параметрами более высокого качества  $P_{i+1}$  посредством перехода  $M_i$ . Рисунок 3 иллюстрирует варианты обработки отверстия в детали. Любая последовательность дуг графа, приводящая из вершин  $P_1$ , характеризующих поверхность заготовки, в вершину  $P_4$ , соответствующую поверхности детали, представляет вариант маршрута обработки детали.

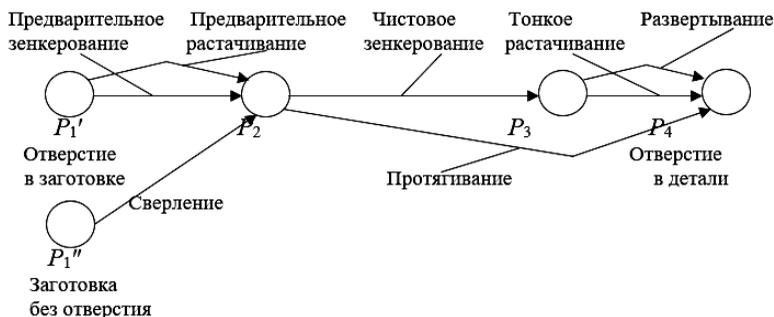


Рис. 3. Преставление вариантов обработки детали

### Список литературы

1. Чураков, М. Муравьиные алгоритмы / М. Чураков, А. Якушев. – 2006. – 15 с.
2. Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V. An Investigation of some Properties of an Ant Algorithm // Proc. Parallel Probl. Solving from Nature Conf. (PPSN 92), Brussels, Belgium, R. Manner and B. Manderick (Eds.), Elsevier Publishing. – 1992. – P. 509 – 520.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*А. А. Романцов, С. В. Лавырев\**

## **ЦИФРОВАЯ РАДИОГРАФИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ**

Метод цифровой радиографии основан на регистрации радиационного изображения (РИ) просвечиваемого объекта контроля (ОК) в цифровой сигнал с помощью цифровых детекторов, ПЗС-матриц, детекторных линеек. Цифровой сигнал передается в блок памяти компьютера, а затем перераспределяется в двумерный массив пикселей, который формирует цифровой код изображения ОК. Цифровое изображение ОК визуализируется на экране дисплея или ТВ-монитора в виде полутонового изображения. При этом изображение в виде цифрового кода подвергается компьютерной обработке различными методами (контрастирование, масштабирование, сглаживание и т.п.) [1].

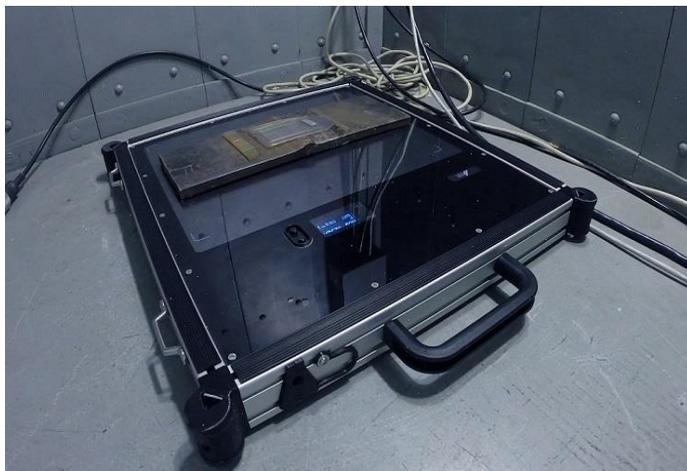
Для проведения РК таким способом по-прежнему требуется источник ионизирующего излучения (ИИИ), эталоны чувствительности и маркировочные знаки. Только вместо рентгеновской пленки, заряженной в кассеты с *усиливающими экранами*, на объекте устанавливается матричный детектор. Это электронное устройство с набором детектирующих элементов, подключенное напрямую к персональному компьютеру. Прибор поглощает рентгеновское излучение и передает цифровое изображение на ПК. Отпадает необходимость в *негатоскопе*. Полученный цифровой снимок можно масштабировать, обрезать, «прогонять» через фильтры и иным образом обрабатывать в специализированном ПО. В качестве источников излучения в комплексах применяются рентгеновские аппараты, а для контроля крупногабаритных объектов с радиационной толщиной свыше 50 мм применяются и бета-троны, и линейные ускорители [2, 3].

Из анализа работ [2, 3] установлено, что существующие в настоящее время системы ЦР классифицируются по способу регистрации на прямую регистрацию в реальном времени и с накоплением цифровых изображений. При прямой ЦР формирование радиационного изображения происходит непосредственно в детекторе, в котором

---

\* Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора ФГБОУ ВО «ТГТУ» М. В. Соколова.

осуществляется преобразование энергии рентгеновских квантов в световые кванты, затем в электрический сигнал, а при ЦР с накоплением происходит преобразование энергии рентгеновских квантов в свет. Далее изображение перераспределяется в цифровой код в виде двумерного массива пикселей с последующим накоплением изображений ОК в памяти цифрового носителя.



**Рис. 1. Плоскопанельный цифровой детектор**

Наиболее перспективной классификацией систем ЦР по способам формирования РИ и оценки качества изображений являются [4]:

- системы на основе усилителей радиационных изображений;
- системы на основе двумерных матричных детекторов;
- сканирующие системы на основе линейки детекторов;
- сканирующие системы на основе бегущего рентгеновского луча.

Анализ зарубежных стандартов и отечественной нормативно-методической документации [1] метода ЦР показал отсутствие в отечественной документации понятий «уровень качества контроля», «классы изображения», «класс цифровых систем». Не регламентированы показатели качества изображения, внутренней нерезкости детектора, искажения, однородности. В то же время, в зарубежных стандартах основным параметром для оценки качества ОК является: внутренняя нерезкость детектора, искажение, однородность. В отечественных стандартах есть чувствительность контроля и геометрическая нерезкость. Этот фактор является одной из причин, которая не позволяет

гармонизировать результаты контроля, полученные с использованием отечественных методик контроля и зарубежных стандартов. Для гармонизации результатов контроля, полученных с использованием отечественных методик контроля и зарубежных стандартов метода ЦР, авторы работ предложили установить следующие классификационные параметры по оценке качества изображения ОК:

- классы радиографической чувствительности согласно ГОСТ 7512–82;
- отношения радиационной толщины по краям участка контроля к толщине по центральной оси тучка излучения;
- внутреннюю нерезкость детектора;
- искажения изображений на экране монитора;
- однородность изображений на экране монитора.

Для внедрения ЦР контроля сварных соединений технических устройств необходимо решить следующие задачи:

- разработать критерии и алгоритмы идентификации изображений несплошностей (дефектов) с использованием систем ЦР для контроля сварных соединений технических устройств на опасных производственных объектах;
- разработать на классификацию оценки качества изображений цифровых изображений и классификацию систем ЦР и определить их параметры;
- разработать нормативные документы, отражающие принципиально новый подход к оценке результатов контроля с использованием систем ЦР для контроля технических устройств на ОПО.

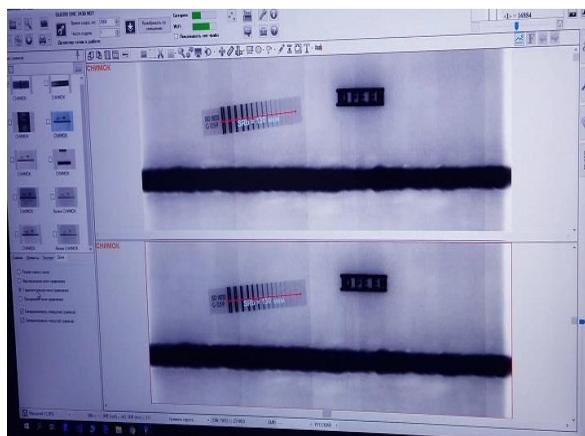


Рис. 2. Рентгеновский снимок, выведенный на экран компьютера

## Список литературы

1. ГОСТ 7512–82.
2. Форум дефектоскопист.ру
3. Недавний, О. И. Современное состояние систем цифровой рентгенографии (обзор) / О. И. Недавний, В. А. Удод // Дефектоскопия. – 2001. – № 8. – С. 62 – 82.
4. Системы получения рентгеновских изображений с высоким пространственным разрешением / Н. К. Кононов, С. М. Игнатов, В. Н. Потапов, В. Г. Недорезов // ПТЭ. – 2006. – № 5. – С. 156 – 159.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы  
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

**УДК 621.791.947.55**

***М. С. Балабаев\****

### **ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ**

Для обеспечения нормального процесса необходим рациональный выбор параметров режима. Параметрами режима являются: диаметр сопла, сила тока, напряжение дуги, скорость резки, расстояние между торцом сопла и изделием и расход воздуха. Форма и размеры соплового канала обуславливают свойства и параметры дуги. С уменьшением диаметра и увеличением длины канала возрастают скорость потока плазмы, концентрация энергии в дуге, ее напряжение и режущая способность. Срок службы сопла и катода зависят от интенсивности их охлаждения (водой или воздухом), рациональных энергетических, технологических параметров и величины расхода воздуха. Максимальные скорости резки и сила тока для нержавеющей сталей, выполненные на 200-амперной установке, приведены в таблицах ниже.

На рисунках 1 – 5 представлены заготовки, вырезанные на плазменной установке с грамотно подобранными режимами резания. На них нет зарезов и большого количества оплавленного металла (окалин). Рез получается чистым и контур заготовки готов к дальнейшей обработке и подготовка детали к установке на станок не нужна.

На рисунках 6 – 8 представлены изображения заготовок, где качество реза гораздо хуже, чем в предыдущих изображениях, причиной являются неправильно подобранные режимы резания.

Скорость воздушно-плазменной резки, по сравнению с газокислородной, возрастает в 2–3 раза (см. рис. 11).

---

\* Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора ФГБОУ ВО «ТГТУ» М. В. Соколова.

## 1. Нержавеющая Сталь 50А

Воздух Плазменный / Воздух Защитный

Толщина, мм	Давление		Напряжение дуги, В	Высота резака, мм	Скорость движения, мм/мин	Начальная высота пробивки, мм	Задержка на пробивку, с	Ширина реза, мм
	Плазменный (Воздух), Бар	Защитный (Воздух), Бар						
0,8	4,8	1,4	104	3,2	15 240	5,1	0,0	1,7
1	4,8	1,4	104	3,3	14 060	5,1	0,0	1,7
1,5	4,8	3,4	105	3,7	9750	5,1	0,0	1,7
2	4,8	3,4	106	3,8	7610	5,1	0,0	1,8
3	4,8	3,4	109	3,8	4400	5,1	0,1	2,1
4	4,8	3,4	111	3,8	2180	5,1	0,1	2,2
5	4,8	3,4	112	3,8	1450	5,1	0,1	2,2
6	4,8	3,4	112	3,8	1130	5,1	0,2	2,2

## 2. Нержавеющая Сталь 100А

Воздух Плазменный / Воздух Защитный

Толщина, мм	Давление		Напряжение дуги, В	Высота резака, мм	Скорость движения, мм/мин	Начальная высота пробивки, мм	Задержка на пробивку, с	Ширина реза, мм
	Плазменный (Воздух), Бар	Защитный (Воздух), Бар						
1,5	5,7	2,9	144	2,0	12 700	5,1	0,0	2,4
2	5,7	2,9	145	2,1	11 290	5,7	0,0	2,5
3	5,7	2,9	149	2,0	6330	8,3	0,0	2,6
4	5,7	2,9	150	3,6	7030	8,3	0,1	2,7
5	5,7	2,9	153	3,6	4170	8,3	0,1	2,7

Продолжение табл. 2

Толщина, мм	Давление		Напряжение дуги, В	Высота резака, мм	Скорость движения, мм/мин	Начальная высота пробивки, мм	Задержка на пробивку, с	Ширина реза, мм
	Плазменный (Воздух), Бар	Защитный (Воздух), Бар						
6	5,7	2,9	155	3,6	2960	8,3	0,1	2,7
8	5,7	2,9	158	3,6	2080	8,3	0,2	2,7
10	5,7	2,9	161	3,6	1580	8,3	0,2	2,8
12	5,7	2,9	165	4,0	1260	8,3	0,4	2,8
15	5,7	2,9	165	4,1	960	8,7	1,0	2,9

### 3. Нержавеющая Сталь 200А

Воздух Плазменный / Воздух Защитный

Толщина, мм	Давление		Напряжение дуги, В	Высота резака, мм	Скорость движения, мм/мин	Начальная высота пробивки, мм	Задержка на пробивку, с	Ширина реза, мм
	Плазменный (Воздух), Бар	Защитный (Воздух), Бар						
5	6,2	4,8	168	3,6	7530	7,6	0,0	4,1
6	6,2	4,8	166	3,6	7130	7,6	0,1	4,1
8	6,2	4,8	166	3,6	6000	7,6	0,2	4,2
10	6,2	4,8	166	3,6	4870	7,8	0,2	4,3
12	6,2	4,8	169	3,6	3990	8,6	0,3	4,3
15	6,2	4,8	170	3,6	3040	9,8	0,4	4,4
20	6,2	4,8	171	4,1	1750	11,4	0,6	4,5
25	6,2	4,8	175	4,5	1060	12,5	1,2	4,6
<b>32</b>	<b>6,2</b>	<b>4,8</b>	<b>185</b>	<b>5,1</b>	<b>500</b>	<b>12,7</b>	<b>3,0</b>	<b>5,3</b>
<b>38</b>	<b>6,2</b>	<b>4,8</b>	<b>191</b>	<b>5,1</b>	<b>330</b>	<b>старт с края</b>		<b>5,6</b>
<b>50</b>	<b>6,2</b>	<b>4,8</b>	<b>198</b>	<b>5,1</b>	<b>210</b>	<b>старт с края</b>		<b>5,8</b>



**Рис. 1**



**Рис. 2**



**Рис. 3**



**Рис. 4**



**Рис. 5**



Рис. 6



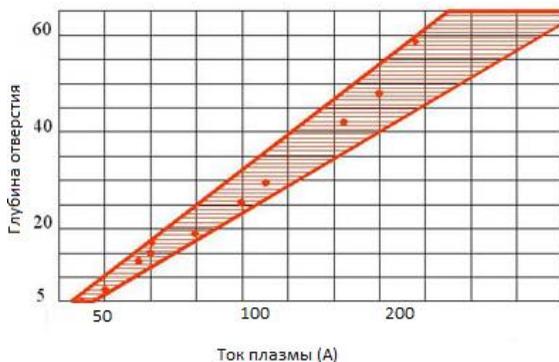
Рис. 7



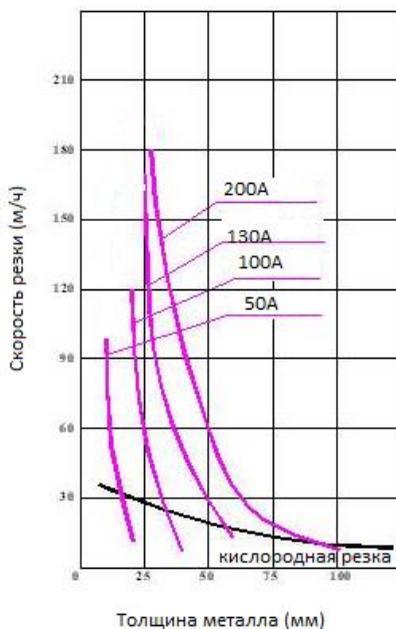
Рис. 8



Рис. 9. Области оптимальных режимов резки металлов для плазматрона с воздушным охлаждением (ток 50 и 100 А)



**Рис. 10. Рекомендуемые токи для пробивки отверстия**



**Рис. 11. Скорость резки углеродистой стали в зависимости от толщины металла и мощности дуги. Пологая нижняя линия – газокислородная резка**

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*А. В. Востриков\**

## **АКТУАЛЬНОСТЬ ПЕРЕВОДА СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦИФРОВОЙ ФОРМАТ**

Рассмотрен процесс неразрушающего контроля основных материалов и сварных соединений в машиностроении, его основные аспекты, а также вариации документального сопровождения механизмов, аппаратов и программных продуктов на каждой стадии строительства и эксплуатации объектов топливно-энергетического комплекса.

Сложно переоценить роль контроля качества в обеспечении техногенной безопасности, защиты персонала и населения, а также окружающей среды. Особенно важны выполнения требований к качеству выпускаемой продукции в атомном, энергетическом, нефтегазовом и химическом машиностроении, где выход из строя отдельного узла или оборудования может повлечь за собой цепную реакцию и, как следствие, привести к техногенным авариям и даже катастрофам.

Безусловно, промышленные предприятия, входящие в состав топливно-энергетического комплекса Российской Федерации, обеспечены системами безопасности, автоматизации, пожаротушения и т.д. При этом широко известно, что основной причиной аварий техногенного характера является человеческий фактор во всех своих проявлениях. Следует также отметить и экономические потери, связанные с техногенными авариями, в число которых входят как затраты на восстановление или демонтаж разрушенных объектов, так и восстановление экологических систем. К сожалению, иногда техногенные аварии приводят к необратимым последствиям, таким как человеческие жертвы, гибель живых организмов и экологических систем. Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации [1] в числе целей, принципов, основных направлений и задач обеспечения энергетической безопасности выделяет:

- Ограничение отрицательного воздействия на окружающую среду и обеспечение экологической безопасности хозяйственной деятельности организаций топливно-энергетического комплекса.

---

\* Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора ФГБОУ ВО «ТГТУ» М. В. Соколова.

- Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, возникающих на объектах топливно-энергетического комплекса.

- Применение российских технологий, оборудования, материалов, программного обеспечения при реализации инвестиционных проектов в отраслях топливно-энергетического комплекса на территории Российской Федерации.

Учитывая вышеизложенное, следует понимать значимость каждого отдельного этапа контроля показателей качества узлов.

Хочется остановить внимание на машиностроительных предприятиях, производителях емкостного, теплообменного, колонного оборудования для топливно-энергетического комплекса Российской Федерации, как на одном из ключевых элементов этого комплекса. Так, данный сегмент народного хозяйства, со сложным внутренним строением, охватывает в своей деятельности такие задачи как:

- Разработка проектно-технической документации объекта на основании технического задания (функции, среда, температура, давление, сейсмическая активность и абиотические факторы региона эксплуатации и т.д.).

- Определение качественных характеристик объекта и нормативных документов, на контроль и оценку отдельных элементов и узлов.

- Разработка технологии производства (сборка, сварка) и технологической оснастки, с учетом имеющихся производственных мощностей и квалификации персонала.

- Разработка технологии контроля материалов и сварных соединений.

- Приобретение материалов и комплектующих, удовлетворяющих требования проектно-технической документации на объект.

- Входной контроль материалов и комплектующих на подтверждение сертификационных данных.

- Механическая обработка заготовок и материалов, в том числе раскрой, гибка, токарная и фрезерная обработка, сверловка, шлифовка и т.д.

- Контроль качества.

- Термическая обработка.

- Контроль качества.

- Сборка и сварка.

- Контроль качества.

- Абразивная обработка и нанесение антикоррозионного покрытия.

- Контроль качества и толщины покрытия.
- Консервация.
- Контроль качества на отсутствие коррозии.
- Упаковка.
- Контроль качества комплектности и упаковки.
- Транспортировка.
- Контроль качества на предмет повреждений в пути (например, от вибраций).
  - Монтаж.
  - Контроль качества монтажных элементов.

Этот перечень операций может изменяться, сокращаться и увеличиваться, но почти в каждом случае этап изготовления сменяет этап контроля качества предыдущей операции. Контроль качества есть неотъемлемая часть изготовления высококачественного машиностроительного оборудования. Здесь также остановимся на отдельных методах контроля качества – неразрушающих. Такой контроль выполняется с целью подтверждения основных характеристик изделия без вмешательства в его целостность, тем самым обеспечивая надежность и долговечность работы изготавливаемых сосудов и аппаратов, а вместе с тем обеспечивая его безотказность и безопасность эксплуатации.

В зависимости от физических явлений, положенных в основу видов и методов неразрушающего контроля, различают (но не ограничиваются) следующие: радиационный; ультразвуковой; магнитный; проникающими веществами; визуальный и измерительный.

Результаты по каждому методу (виду) НК должны содержать сведения о проконтролированных объектах, параметрах, объемах и средствах НК, браковочных критериях, условиях НК (при необходимости), персонале, проводившем НК и выдавшем документы по результатам НК (протокол, отчет, заключение), перечень документов, используемых при НК и оценке его результатов, информацию о времени (дате) и месте проведения НК, выводы о соответствии или несоответствии объекта НК установленным требованиям [2].

В данной работе рассматривается вопрос локального управления процессами неразрушающего контроля, а именно мероприятий по регистрации и сохранению документированной информации в объеме, необходимом для уверенности в том, что процессы выполнялись в полном соответствии с установленными требованиями к качеству, а также сохранение этих записей на срок хранения, предусмотренный действующим законодательством. Управление этими процессами,

имея исключительно аналоговые данные, достаточно трудоемкий процесс, требующий пристального внимания от оператора. Кроме того, отсутствует механизм, позволяющий отслеживать этапы производства в реальном времени, опираясь на такие этапы как пооперационный контроль. Здесь следует понимать, что производство не всегда носит прямолинейный характер, так наличие значимых несоответствий на том или ином этапе производства влечет за собой возвращение объекта контроля на предыдущий этап, на доработку с последующим повторением цикла. Также не исключается случай полной отбраковки объекта контроля при наличии дефектов, не подлежащих исправлению.

Опираясь на вышеизложенное, можно выделить особенности искомого программного продукта и его основные функции и задачи.

Разработку приложения следует выполнять на языке C#, так как его кросс-платформенность и его адаптивность к наиболее распространенному программному обеспечению. Этот объектно-ориентированный язык раскрывает широкий спектр возможностей в части решения описанных задач.

Формат программы предполагает работу с большим количеством исходных данных, при этом пользователю доступен лаконичный интерфейс, что, в свою очередь, реализуется на принципе инкапсуляции.

Нельзя обойти стороной и такую потребность, как обработка исходных данных различными методами для получения различной информации связанной с различными методами контроля и оценки результатов. Это также реализовано в высокоуровневых языках программирования, поддерживающих ООП, к которым, в свою очередь, относится C# на принципе полиморфизма.

К важнейшим задачам данного программного продукта следует отнести эвентуальность получения промежуточных итогов (протоколов), отражающих действительную информацию об этапе изготовления (жизненного цикла) продукции и статусу по каждому техпроцессу, предусмотренному проектной, технической и технологической документацией. Изменения статуса пользователем (из числа чья компетентность подтверждена в установленном порядке в системе неразрушающего контроля) считывается и фиксируется программой, определяя следующую производственную операцию. Если объект соответствует требованиям, то переходит на следующую стадию производства, а если в случае выявления несоответствий возвращается на доработку с последующим повторным проведением контроля всех предусмотренных контрольных операций признается неремонтопригодным.

Данный принцип работы программы позволит мониторить производственные процессы и результаты неразрушающего контроля в реальном времени, тем самым открывая возможность анализа возникновения несоответствий. При этом сокращается и время проведения контроля за счет значительного сокращения времени, затраченного на заполнение журналов и протоколов, где данные дублируют друг друга.

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить актуальность цифровизации объектов машиностроения, а, в частности, разработку и интеграцию подобных программных продуктов в технологические процессы, и их благоприятное воздействие на устойчивое развитие отрасли в целом.

### **Список литературы**

1. Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации : утверждена Указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2019 г. № 216

2. Правила аттестации и основные требования к лабораториям неразрушающего контроля: СДАНК-01-2020: утверждены решением Наблюдательного совета Единой системы оценки соответствия от 29.12.2020 г.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы  
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

# БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИМЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

---

УДК 579.66

*А. А. Козеняшева\**

## МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА

Для получения биотоплива современные технологии предлагают использовать возобновляемое сырье, в большинстве случаев которое представляет собой промышленные или сельскохозяйственные отходы. Одним из производимых в значительных количествах в настоящее время видов биотоплива является биоэтанол. Введение этой составляющей в состав смесей с бензином, соляркой позволяет повысить качество топлива в 2,5 – 3 раза и уменьшить выброс вредных веществ до 70% [1]. Также биоэтанол используется как сырье на предприятиях химической и фармацевтической промышленности. В соответствии с директивой ЕС 2018/2001 [2] общая доля энергии из возобновляемых источников должна составлять 32% к 2030 году. В промышленных масштабах для производства биоэтанола используют целлюлозосодержащие отходы переработки сельскохозяйственных культур или крахмалсодержащее зерновое сырье. Так в США для суточного производства биоэтанола объемом более 14 млн дал в основном используют кукурузу и сорго, а в Бразилии для выработки 8,4 тыс. дал в сутки перерабатывают сахарный тростник и кукурузу. В странах ЕС по большей части используются такие культуры, как кукуруза, пшеница и сорго.

На территории России большую часть биоэтанола производят ЗАО «Нефтехимия», ООО «Кировский биохимический завод», ЗАО НПО «Химсинтез». В связи с тем, что для производства биоэтанола использовать сельскохозяйственные культуры, что экономически не выгодно, в настоящее время производство переходит на непродовольственные культуры и лигноцеллюлозную биомассу. Также в Кур-

---

\* Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» О. В. Зюзиной.

чатовском институте проводятся исследования возможной переработки биомассы микроорганизмов в биотопливо, а работы российских ученых Г. Ф. Мироновой, Е. А. Скиба и др. посвящены получению биоэтанола из целлюлозосодержащего сырья.

Рассматривается возможность использовать в качестве сырья побочный продукт свеклосахарного производства – прессованный свекловичный жом. Данный вид отхода имеет углеводную основу и позволяет использовать его в качестве корма для крупного рогатого скота. Также химические вещества массы свекловичного жома рассматриваются как экономически выгодные компоненты для переработки его в востребованные продукты, например, в пектин, биоэтанол. В таблице 1 приведены химические соединения свекловичного жома и среднее их содержание [3].

Предварительная обработка свекловичного жома является первым и важнейшим этапом перевода полимерных соединений в доступную для микроорганизмов форму при производстве биоэтанола. Известны и рекомендуются для этой цели три группы воздействий – биологическое, химическое и физико-химическое. В таблице 2 представлен состав углеводной смеси после разрушения клеточной стенки биомассы свекловичного жома при ферментативном гидролизе с использованием комплекса препаратов Вискозима, Ультрафло Макс (Новозим) и кислотном гидролизе в среде 2 %-ной серной кислоты [3].

### 1. Химические соединения свекловичного жома

Вещество	Содержание, %	Сахара
Целлюлоза	22...30%	Глюкоза
Гемицеллюлоза	24...32%	D – фруктоза
		D – ксилоза
		D – манноза
		D – арабиноза
		D – глюкоза
		D – галактоза
Пектин	38...62%	Галактуроновая кислота
Лигнин	1...2%	–

## 2. Состав гидролизатов жома сахарной свеклы

Сахара	Концентрация углеводов (г/л) после ферментативного гидролиза			Концентрация угле- водов (г/л) после кислотного гидролиза	
	4 ч	10 ч	16 ч	130 °С	140 °С
Глюкоза	18,61 ± 0,70	21,79 ± 0,54	29,74 ± 1,19	2,46 ± 0,08	2,56 ± 0,10
Фруктоза	4,52 ± 0,40	8,90 ± 0,29	12,46 ± 0,60	2,52 ± 0,30	0,95 ± 0,15
Манноза	3,04 ± 0,14	5,97 ± 0,17	7,04 ± 0,45	1,67 ± 0,12	1,29 ± 0,10
Арабиноза	1,54 ± 0,50	2,60 ± 0,87	3,47 ± 0,82	10,81 ± 0,58	13,06 ±0,62
Галактоза	2,27 ± 0,90	3,90 ± 0,39	5,18 ± 0,31	9,39 ± 0,50	13,15 ±0,65
Рамноза	0,88 ± 0,59	1,75 ± 0,08	2,26 ± 0,30	4,62 ± 0,42	4,43 ± 0,45
Ксилоза	0,39 ± 0,053	0,48 ± 0,038	0,47 ± 0,049	1,12 ± 0,08	1,81 ± 0,07
Галактуроновая кислота	3,66 ± 0,24	5,51 ± 0,44	7,81 ± 0,19	0,48 ± 0,12	2,48 ± 0,32

Как видно из приведенных в табл. 2 данных при ферментативном гидролизе наблюдается наибольший выход простых сахаров, кроме того ферменты в составе препаратов инактивируются и не загрязняют получаемую смесь из-за малых расходов для реализации процесса, не вызывают образование токсичных веществ, влияющих на дальнейшие биохимические процессы с участием дрожжевых организмов. Тогда как кислотный гидролиз сопровождается накоплением соединений, ингибирующих деятельность микроорганизмов, и возникает необходимость дополнительной обработки гидролизата.

На этапе получения биоэтанола брожением простых сахаров принимают участие микроорганизмы *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida shehatae*, *Pichia stipitis* и др. В статье [4] авторы приводят данные об успешном преобразовании биомассы в биоэтанол с помощью смешанной культуры нескольких генетически модифицированных этанологенных бактерий, таких как *Escherichia coli KO11*, *Klebsiella oxytoca*

*P2* и *Erwinia chrysanthemi EC16*. Штаммы микроорганизмов подбирались, исходя из условий пребывания в бродильном аппарате и их способности к сбраживанию гексоз и пентоз простых сахаров. При использовании в качестве питательной среды гидролизата, полученного с использованием ферментных препаратов Вискозим, Ультрафло Макс, отмечаются высокие концентрации низших сахаридов, которые могут подвергать клетки микроорганизмов осмотическому стрессу, а также вызывать ингибирование субстратом [4].

По результатам проведенного анализа доступных информационных источников для исследовательского проекта по теме, актуальной для кирсановского предприятия ООО «Кристалл», имеющего значительные объемы свекловичного жома, выбрана технология переработки его с получением биоэтанола. Предусматривается серия экспериментальных работ, направленных на подбор доступных высокоактивных ферментных препаратов для ведения биохимической обработки сырья – свекловичного жома, включающей гидролиз полисахаридов и делигнификацию, достигая высокого выхода простых сахаров. Важным этапом проектной работы является поиск биологических агентов для сбраживания гексоз и пентоз на и установление технологических параметров температуры и давления для метаболической активности микроорганизмов в анаэробных условиях.

### Список литературы

1. Martins, F., Felgueiras, C. Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impact in European Countries. *Energies* 2019, 12, 964.
2. Директива (ЕС) 2018/2001 Европейского парламента и Совета, Официальный журнал Европейского Союза. 2018.
3. Tomaszewska, J., Bieliński D. Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. – 2018. – V. 8. – P. 3161 – 3177.
4. Bertowska, J., Pielech-Przybyiska, K. Simultaneous saccharification and fermentation of sugar beet pulp for efficient bioethanol production, *BioMed Research International*. – 2016. – P. 10.

*Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*В. А. Нестерова\**

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛЮТЕИНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОДОРОСЛИ CHLORELLA**

Биологически активные добавки – это большая группа нутрицевтиков, которые рекомендуют применять для восполнения организма человека определенными витаминами и микроэлементами, биологически активными веществами для улучшения общего состояния организма и укреплением иммунитета. Поэтому сегмент БАДов представлен препаратами нутрицевтиками (витамины, микроэлементы, аминокислоты), пробиотиками (живые микроорганизмы) и парафармацевтиками (фиточай, мумие и травы).

Нутрицевтики относятся к эссенциальным нутриентам, являются природными ингредиентами пищи и употребляются без назначения врача, тогда как парафармацевтики – компоненты растительного синтеза, животного синтеза и натурального химического синтеза рекомендуются к употреблению только при назначении врача. Нутрицевтики выпускаются в разных товарных формах – экстракты, настойки, порошки, сухие и жидкие концентраты. Заболевания глаз охватывают широкий спектр, оказывающий негативное влияние на различные компоненты зрительной системы и зрительную функцию человека [1].

Среди нутрицевтиков можно выделить каротиноидные пищевые добавки, поддерживающие и обеспечивающие оптимальную зрительную функцию, снижающие риск катаракты. Средства с каротиноидами защищают от негативных факторов, снимают усталость, предотвращают ухудшение зрительных функций из-за возрастных изменений. Наиболее распространенным каротиноидом в природе является лютеин, который выступает в роли активного компонента биохимических процессов в хрусталике глаза.

Возрастание спроса на лютеин в качестве биологически активной добавки обуславливается тем, что отрасли фармацевтической промышленности занимают значительную долю на мировом рынке, обладая рядом преимуществ, таких как совершенствование старых способов технологий получения, создание новых лекарственных форм, разнообразие видов сырья и оборудования.

---

\* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора, заведующего кафедрой «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. С. Дворецкого.

Препараты лютеина получают из плодов черники, бархатцев, но также могут быть получены из биомассы автотрофных организмов. Практический интерес представляют каротиноидные витаминные пигменты – продукты метаболизма автотрофных организмов, в частности, одноклеточные водоросли, содержащие каротиноидов больше, чем растения. Из всего многообразия микроводорослей большое количество лютеина отмечено в клетках хлореллы наряду с незаменимыми аминокислотами, углеводами, пигментами.

Потребность лютеина в сутки должна быть не менее 5 мг. Для профилактики при отличном зрении – 2 мг. При нахождении в группе риска суточная доза может достигать 6 мг.

Организм человека и животных не способен синтезировать лютеин самостоятельно, поступая в организм только с пищей. Фрукты и овощи являются хорошими источниками каротиноидов, но поскольку они являются жирорастворимыми веществами, поглощение в значительной степени зависит от их приготовления. Основным источником получения лютеина является растительное сырье [2].

Получение лютеина из растительного сырья зависит от сезонности, погодных условий, необходимости больших площадей для выращивания растительного сырья и антропогенного влияния (например, использование искусственных пестицидов и агрохимикатов), что привело к тому, данный способ получения становится затратным, а также затрудняется очистка продукта. Перспективными источниками каротиноидов в России являются экстракт, порошок из черники и лепестки цветков бархатцев, содержащих в себе большое количество ксантофиллов, среди которых лютеин является преобладающим [3].

Вещество снижает уровень окислительного стресса, подавляя активность свободных радикалов, снижает риски развития некоторых форм рака. Лютеин защищает ткани глаза, помогая фильтровать агрессивную часть спектра светового потока, улучшает остроту зрения и светочувствительность. Антиоксидантная функция заключается в том, что каротиноид способствует нейтрализации и быстрому выведению из организма свободных радикалов – частиц, которые образуются в сетчатке глаза под действием солнечного света. Лютеин связывает активные формы кислорода, уменьшая повреждение чувствительных тканей свободными радикалами. Кроме того, лютеин снижает скорость образования пигмента липофусцина, который вызывает старение сетчатки. При попадании лучей прямого солнечного света в глаза инициируется образование свободных радикалов, которые повреждают сетчатку, хрусталик и другие структуры глаза. Пигмент защищает центральную область сетчатки (макулу) от повреждающего

воздействия свободных радикалов, предупреждая дегенерацию этой области.

Производство лютеина с помощью микроводорослей относится к категории биотехнологического производства. Получение порошка лютеина является многоступенчатым процессом, предполагающим применение ряда технологических приемов. Выбрав параметры условия (температура, освещенность, уровень pH и концентрация углекислого газа) культивирования, подобные идеальным условиям, можно создать благоприятные условия для быстрого роста и снизить время, затрачиваемое на выращивание биомассы [4]. В таблице 1 показана концентрация лютеина и продуктивность штаммов микроводорослей.

Стадия концентрирования позволяет отделить культуральную жидкость и уменьшить влажность биомассы с 98 до 50...60% для эффективности выделения целевого компонента посредством отделения остатков питательной среды и продуктов метаболизма клеток без изменения химического состава. Разрушение клеточных стенок методом УЗ-дезинтеграции характеризуется рядом преимуществ: небольшой уровень потребления энергии, короткое время обработки суспензии и продуктивная дезинтеграция клеток.

Экстрагирование проводится совместно со стадией дезинтеграции для сокращения затрат, при использовании экстрагента – этанола 96%, где извлечение лютеина достигает до 66% (массовое содержание от общего количества каротиноидов). Отгонка экстрагента осуществляется выпариванием под вакуумом.

### 1. Концентрация лютеина и продуктивность штаммов микроводорослей

Штамм	Время культивирования, сут	Концентрация биомассы, г/л	Продуктивность, Х г/(л,сут)	Прирост лютеина в суспензии мг/(л·сут)
C. sorokiniana MB-1	7	6,85	12,57	0,35
Desmodesmus sp. F51	7...8	1,45	5,52	0,22
Scenedesmus obliquus FSP-3	7...8	3,4	4,15	0,19
C. sorokiniana FZU60	7...8	5,3	6,39	0,26

Щелочной гидролиз – это метод, применяемый в производстве при получении каротиноидов, позволяющий расщепить и высвободить жирную кислоту, присоединенную к активным молекулам. Ультрафильтрацией раствор делится на две фракции: осаждаемый продукт и примеси, где фильтрат может служить в качестве кормовой добавки или минерального удобрения, а осаждаемый продукт подвергается сушке до конечной влажности 7...8% и фасуется в капсулы, которые обеспечивают срок хранения до 2 лет при соблюдении температурно-влажностного режима в чистых и вентилируемых помещениях.

Проведен анализ информационных источников по сырью, технологии производства лютеина, выбран штамм микроводоросли *Chlorella sorokiniana MB-1*. Разработана технология производства лютеина с использованием микроводоросли *Chlorella sorokiniana MB-1*, включающая в себя стадии: накопление биомассы, концентрирование, УЗ-экстрагирование, отгонка экстрагента, щелочной гидролиз, ультрафильтрация и сушка целевого продукта.

### Список литературы

1. Илларионова, Е. А. Биологически активные добавки. Оценка эффективности безопасности : учебное пособие / Е. А. Илларионова, И. П. Сыроватский ; ФГБОУ ВО ИГМУ Минздрава России, Кафедра фармацевтической и токсикологической химии. – Иркутск : ИГМУ, 2020. – 56 с.
2. Сенченков, В. Ю. Определение и стабилизация каротиноидов, полученных микробиологическим путем: дис. ... канд. хим. наук : 04.04.01 / В. Ю. Сенченков. – Белгород, 2020. – 112 с.
3. Ачмиз, А. Д. Характеристика существующих способов получения каротиноидов из растительного сырья и вторичных ресурсов его переработки. Новые технологии / А. Д. Ачмиз // *New technologies*. – 2022. – No. 18(2). – P. 15 – 29.
4. Safi Carl. Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella*. – 2017. – V. 35. – P. 265 – 278.

*Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*Т. В. Петерс\**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФИКОЦИАНИНА  
ИЗ БИОМАССЫ ЦИАНОБАКТЕРИЙ *SPIRULINA PLATENSIS***

Цианобактерии рода *Spirulina platensis* представляют собой перспективный источник различных ценных веществ. *Sp. platensis* – это вид цианобактерий, относящийся к прокариотам, имеет нитчатую спиральную микроскопическую структуру и не образует гетероцист. Данный вид не способен фиксировать азот, и использует энергию фотосинтеза для роста и поддержания жизнедеятельности.

Цианобактерии *Spirulina platensis* способны продуцировать белки, липиды, углеводы, витамины, антибиотики, которые могут быть использованы в пищевой промышленности, косметических продуктах, лекарственных препаратах, а также в качестве эргоносителей.

В *Spirulina platensis* содержится большое количество натуральных и полезных пигментов, таких как: хлорофилл а (хлорофилл b отсутствует), каротиноиды и фикобилипротеины (или фикобилины), включающие в себя фикоцианин, фикоэритрин и аллофикоцианин. Фикобилипротеины служат светособирающими антеннами для фотосистем в клетках цианобактерий, поглощая энергию в тех частях видимого спектра, которые плохо используются хлорофиллом, передавая ее в реакционные центры фотосинтеза для управления фотосинтетическим переносом электронов.

Фикоцианин – белок, входящий в состав фотосинтезирующих пигментных комплексов *Spirulina platensis*, является преобладающим по сравнению с другими пигментами. Он обладает способностью подавлять свободные радикалы, подобно пигменту билирубину сыворотки крови. Благодаря этому, данный пигмент является активным пищевым антиоксидантом [1]. Помимо этого, фикоцианин имеет противовоспалительные свойства, стимулирует синтез эритроцитов, тромбоцитов и лейкоцитов, замедляет процесс роста раковых тканей, а также подавляет проявление аллергии.

---

\* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора, заведующего кафедрой «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. С. Дворецкого.

Целью работы являлось экспериментальное исследование процесса извлечения фикоцианина из биомассы цианобактерий *Spirulina platensis*.

Для проведения эксперимента использовалась биомасса цианобактерий *Spirulina platensis* влажностью 8%. Навески биомассы 2,5 г растворялись в 50 мл дистиллированной воды. Один образец не подвергался обработке, и являлся контролем, экстрагирование проводилось мацерацией в течение 30 мин. Для эффективного извлечения фикоцианина второй образец экстрагировали совместно с разрушением клеточных стенок ультразвуком (частота 22 кГц, мощность 60 Вт, время воздействия 10 мин). Ультразвук за счет колебаний вызывает дезинтеграцию клеточных скоплений, тем самым способствует улучшению контакту клеток цианобактерий с экстрагентом, и интенсифицирует процесс экстрагирования [2].

После обработки от биомассы клеток центрифугированием (в течение 20 мин, скорость вращения 3500 об/мин) отделялся фугат, в котором определялась массовая доля (%), концентрация пигмента (мг/мл) и степень чистоты спектрофотометрическим методом [3]. Далее образцы с экстрактом подвергались высаливанию для перевода фикоцианина в осажденную форму. Для этого был использован 80 %-ный раствор сульфата аммония в соотношении 1:2 (соль:экстракт). Процесс осаждения составлял 3 ч при комнатной температуре 20...25 °С до образования видимого осадка фикоцианина. Неосажденные пигменты и соль отделяли фильтрованием с помощью фильтровальной бумаги, затем определяли массовую долю фикоцианина в биомассе, его концентрацию в экстракте и степень чистоты, используя спектрофотометрический метод [3].

Чистота фикоцианина является важным фактором для его использования в различных отраслях промышленности. Степень чистоты определяется соотношением оптической плотности, измеренной при двух длинах волн:  $A_{620}$  и  $A_{280}$ . Если соотношение  $A_{620}/A_{280}$  больше или равно 0,7, то фикоцианин считается подходящим для использования в пищевой промышленности. Если соотношение находится в диапазоне от 0,7 до 3,9, то пигмент относится к классу реагента. Если же соотношение  $A_{620}/A_{280}$  больше или равно 4, то фикоцианин имеет аналитический класс.

Анализ экспериментальных данных (табл. 1) показал, что экстрагирование совместно с разрушением клеточных стенок ультразвуком повышает выход фикоцианина, а степень чистоты фикоцианина остается неизменной.

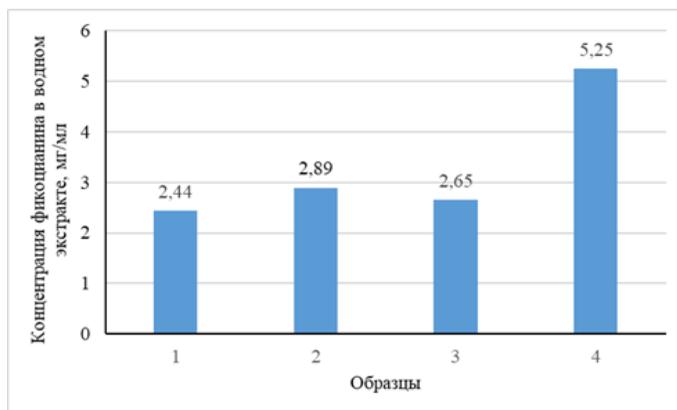
В таблице 2 представлены результаты эксперимента по осаждению фикоцианина методом высаливания сульфатом аммония.

### 1. Влияние ультразвукового воздействия на выход фикоцианина

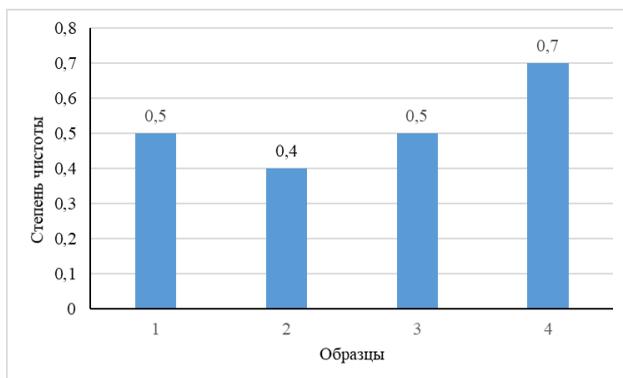
Образцы	Массовая доля, %	Концентрация фикоцианина в водном экстракте, мг/мл	Степень чистоты
1 (контроль)	2,12	2,44	0,5
2 (УЗ)	2,51	2,65	0,5

### 2. Выход фикоцианина после осаждения сульфатом аммония

Массовая доля фикоцианина, %	Концентрация фикоцианина в водном экстракте, мг/мл	Степень чистоты
<i>Образец 1 (контроль)</i>		
2,12	2,44	0,5
<i>Образец 2 (контроль после осаждения)</i>		
2,21	2,89	0,4
<i>Образец 3 (УЗ)</i>		
2,51	2,65	0,5
<i>Образец 4 (УЗ после осаждения)</i>		
2,86	5,25	0,7



**Рис. 1. Изменение концентрации фикоцианина в водных экстрактах исследуемых образцов**



**Рис. 2. Изменение степени очистки пигмента в исследуемых образцах**

Анализ экспериментальных данных (табл. 2 и рис. 1, 2) показал, что осаждение сульфатом аммония повышает выход фикоцианина в 2 раза. Степень чистоты увеличивается после фильтрования до 0,7. Таким образом, пигмент можно использовать в качестве пищевой добавки. Для использования фикоцианина как аналитического класса и класса реагента необходима дополнительная очистка.

### Список литературы

1. Пат. 2320195 Российская Федерация, МПК А23J3/20. Способ получения белкового препарата из цианобактерий / Мазо В. К., Гмошинский И. В. ; Заявитель и патентообладатель Мазо В. К. № 2006118740/13 ; заявл. 31.05.2006 ; опубл. 27.03.2008, Бюл. № 9.
2. Tiwari, В. К. Ultrasound: A clean, green extraction technology / В. К. Tiwari // TrAC Trends in Analytical Chemistry. – 2015. – P. 100 – 109.
3. Геворгиз, Р. Г. Количественное определение массовой доли С-фикоцианина и аллофикоцианина в сухой биомассе *Spirulina (Arthrospira) platensis* North. Geitl. Холодная экстракция : учебно-методическое пособие / Р. Г. Геворгиз, М. В. Нехорошев ; РАН, Ин-т морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского. – Севастополь: ФГБУН ИМБИ, 2017. – 21 с.

*Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*В. В. Свиридов\**

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В последние несколько лет в России стремительно развивается свеклосахарное производство (далее ССП). За период 2011 – 2021 гг. выпуск свекловичного сахара вырос на 25% [1].

Отходами ССП являются: фильтрационный осадок, меласса и свекловичный жом. Выход последнего составляет до 85% от массы переработанной свеклы [1].

В последние годы наблюдается избыток отходов ССП, которые необходимо перерабатывать с применением экологических, энерго- и ресурсосберегающих технологий в силу современных мировых тенденций [2].

При поиске технологического решения переработки свекловичного жома на ССП рассматриваются два варианта – биогазовые станции и сушка жома. В отличие от сушки, переработка свекловичного жома в биогаз предполагает не потребление энергии, а ее производство.

Предлагается технология переработки свекловичного жома с применением биогазовой станции и блока газоочистки.

В качестве сырья предлагается использовать свекловичный жом, из которого предварительно извлечены пектиновые вещества посредством гидролиз-экстрагирования. Выделение пектина целесообразно ввиду экономической выгоды.

В качестве биологического агента для переработки предлагается использовать ассоциацию, представленную 3 видами микроорганизмов: гидролизные, кислотообразующие и метаногенные бактерии.

Установлено, что наиболее перспективно использование бактерий, представленных в табл. 3 [3].

В результате конверсии органических веществ свекловичного жома консорциумом бактерий выделяется горючая смесь газов, состав которой представлен в табл. 4 [4].

---

\* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора, заведующего кафедрой «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. С. Дворецкого.

## 1. Характеристика гидролизных бактерий

Бактерия	Признаки		
	Питание	Температура, °С	pH
<i>Clostridium</i>	Полисахариды	28...37	7,2...7,6
<i>Ruminococcus</i>	Целлюлоза	35...40	7,0...7,5
<i>Butyrivibrio</i>	Гемичеселлюлоза, белки	28...37	7,2...7,6
<i>Escherichia coli</i>	Может жить на различных субстратах	37...38	7,2...7,8

## 2. Характеристика кислотообразующих бактерий

Бактерия	Признаки		
	Питание	Температура, °С	pH
<i>Syntrophomonas</i>	Жирные кислоты	30...37	6,5...7,0
<i>Syntrophobacter</i>	Органические кислоты	30...37	6,0...6,5
<i>Desulphovibrio</i>	Углеводороды	25...40	6,0...6,5

## 3. Характеристика метаногенных бактерий

Бактерия	Признаки		
	Питание	Температура, °С	pH
<i>Methanosarcina</i>	CO <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> , ацетат, метанол	25...35	6,5...7,5
<i>Methanobacterium</i>	CO <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> , формиат	25...30	6,1...7,8
<i>Methanococcus</i>	CO <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> , ацетат	34...37	6,0...7,0
<i>Methanosarcina</i>	CO <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> , ацетат, метанол	25...35	6,5...7,5

## 4. Средний состав биогаза

Компонент	Концентрация, об. %
Метан (CH <sub>4</sub> )	55...65
Углекислый газ (CO <sub>2</sub> )	35...45
Вода (H <sub>2</sub> O)	2...7 (20...40°C)
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	< 3

При содержании метана 60% 1 м<sup>3</sup> биогаза имеет теплоту сгорания около 20 300 кДж, что в 1,5 раза меньше, чем у природного газа. Данной концентрации метана недостаточно для использования такого газа на ТЭЦ, следовательно, концентрацию необходимо повысить.

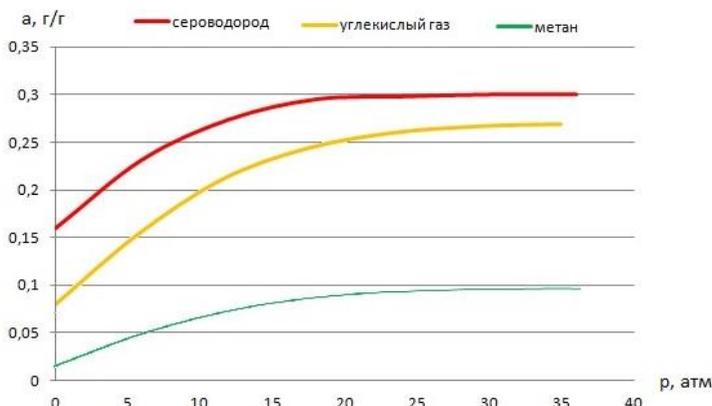
Предлагается использовать адсорбционный блок, состоящий из адсорбера-осушителя и установки КЦА для повышения концентрации метана в биогазе.

Адсорбент выбирался исходя из его адсорбционной способности, для того, чтобы вместе с балластными газами не удалялся метан или его потери были минимальны. Были рассмотрены цеолиты типов NaA (4A) и CaA (5A) [4].

Цеолит NaA не способен сорбировать метан в силу стерических ограничений (диаметр молекулы метана 4,44 А). Адсорбционная способность цеолита CaA по метану в несколько раз ниже, чем у сероводорода и углекислого газа (рис. 1).

Применение технологии целесообразно на ССП. Внедрение технологии на предприятии мощностью 4000 т/сут и использование 20% свекловичного жома в качестве сырья на биогазовой станции позволяет получить 71 550 м<sup>3</sup> метана чистой 99% и 1500 т высококачественных биоудобрений в сутки.

В результате разработки технологии подобрана ассоциация бактерий, рассчитан выход целевого и побочного продуктов, выполнен технико-экономический расчет, подтверждающий целесообразность создания проекта при сроке окупаемости 3,23 года. Постановлено, что разработанная технология позволяет решить комплекс экономических, экологических и агрохимических проблем.



**Рис. 1. Способность цеолита CaA адсорбировать компоненты биогазовой смеси при 298 К**

## 5. Техничко-экономическое обоснование проекта

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя
1. Капиталовложения в проект, К	руб.	564 000 000
2. Экономия от общего объема газа	%	22
3. Доход от продажи удобрения, год	руб.	306 000 000
4. Срок окупаемости проекта	год	3,23
5. Доход от проекта в год	руб.	217 000 000

### Список литературы

1. Цифровизация агропромышленного комплекса [Электронный ресурс] : сб. науч. ст. III Междунар. науч.-практ. конф. В 2-х т. Тамбов, 25 – 27 октября 2022 г. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2022.

2. Свиридов, В. В. Анализ методов разделения компонентов биогаза / В. В. Свиридов // Переработка углеводородного сырья: проблемы и инновации-2022 : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Астрахань, 10 ноября 2022 года. – Астрахань : Астраханский государственный технический университет, 2022. – С. 178 – 180.

3. Биологическая роль бактерий. – URL : <http://mikrobio.balakliets.kharkov.ua/contents-3-2.html>

4. Турчанович, И. Е. Синтетические цеолиты. Очистка биогаза от балластных примесей / И. Е. Турчанович, Н. Н. Турчанович // Международный научно-исследовательский журнал – 2016. – № 1-2(43). – С. 71 – 77.

*Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*В. С. Трунилина\**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА  
АНТИМИКРОБНЫХ ПЕПТИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЦИАНОБАКТЕРИЙ *SPIRULINA PLATENSIS***

Поиск антибиотических веществ, которые могут быть эффективными против устойчивых штаммов и не подвергаться резистентности со стороны бактерий, становится все более необходимым из-за распространения множественной лекарственной устойчивости и запросов рынка. Природные антимикробные соединения, полученные из цианобактерий, полностью соответствуют этим условиям.

Цианобактерии продуцируют широкий спектр антимикробных пептидов благодаря своей необычайной синтетической пластичности, наделенной способностью синтезировать не только рибосомные, но и нерибосомные пептиды.

Антимикробные пептиды могут быть получены химическим синтезом, однако существуют ограничения в отношении их длины – синтезировать пептиды длиннее 30 аминокислотных остатков является достаточно сложной задачей. Кроме того, химически синтезированные пептиды не могут занимать требуемую пространственную структуру. В отличие от них, пептиды, продуцируемые в живом организме, имеют определенную кладку, которая играет роль в их антимикробных свойствах, и синтезированная молекула будет уступать естественному аналогу.

Антимикробные пептиды представляют собой катионные молекулы, состоящие из 8 – 45 аминокислотных остатков. Они отличаются низкой резистентностью, обусловленной их множественными механизмами действия. Воздействие антимикробных пептидов на клетки может быть разделено на два основных типа: либо ингибируют метаболические процессы, либо нарушают целостность клеточной мембраны. Они действуют на грамположительные и грамотрицательные микроорганизмы, а также на грибы, вирусы и простейшие, но не обладают цитотоксичностью по отношению к нормальным клеткам млекопитающих, селективностью по отношению к воде [1].

---

\* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора, заведующего кафедрой «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. С. Дворецкого.

У большинства антимикробных пептидов преобладает высокое количество основных (лизин, аргинин, гистиин) и неполярных гидрофобных аминокислотных остатков (чаще всего аланин, изолейцин, лейцин, валин). Доля этих остатков в молекуле пептида может достигать 30...50%. Характер, соотношение и распределение заряженных, нейтральных, гидрофобных и гидрофильных аминокислотных остатков в молекуле антимикробных пептидов играют решающую роль в определении их заряда, который влияет на способность взаимодействия пептида с поверхностью микробной клетки. Также они обуславливают амфипатичность антимикробных пептидов, т.е. пространственное разделение гидрофильных и гидрофобных областей в молекуле, что позволяет им проникать в мембраны бактериальных клеток и, в некоторых случаях, в клеточные мембраны различных эукариотических организмов, начиная с простейших и заканчивая млекопитающими. Это осуществляется через взаимодействие с липидами, которые обладают гидрофильными и гидрофобными свойствами. Аминокислотная последовательность и состав антимикробных пептидов также влияют на их структуру и многообразие механизмов, которые обеспечивают их антимикробную активность.

Антимикробные пептиды широко применяют в медицине, в ветеринарии, в сельском хозяйстве, в качестве кормовых добавок, как консерванты, в биохимических исследованиях.

Важной задачей является создание новых антибиотиков, способных предотвратить появление ранее неизвестных видов микроорганизмов, устойчивых к уже существующим антимикробным средствам.

Цианобактерии представляют собой перспективный источник антимикробных веществ, с высокой вероятностью нахождения в них новых, более эффективных молекул. Кроме того, они богаты разнообразными органическими соединениями, такими как пептиды, белки, липиды, витамины, пигменты, углеводы, терпеноиды, полиненасыщенные жирные кислоты, флавоноиды, фенольные соединения и другие. Эти компоненты могут потенциально использоваться для разработки биофармацевтических препаратов [2]. Их адаптивность позволяет легко культивировать их в лаборатории, требуя небольшого количества неорганических питательных веществ.

В качестве продуцента для получения антимикробных пептидов предлагается использовать штамм цианобактерии *Spirulina platensis* IPPAS B-256, обладающий высокой способностью накапливать антибиотические вещества и характеризующийся следующими особенностями: способен выживать в широком диапазоне условий культивиро-

вания как в открытых, так и в закрытых системах; имеет высокую скорость роста и высокую скорость накопления конкретного продукта.

Белок, содержание которого может достигать 60...70% биомассы, является важным компонентом цианобактерий. Синтез белка тесно связан с поглощением азота, поскольку азот является важным его элементом. Для стимулирования синтеза белка в клетках цианобактерий можно повысить концентрацию азота в культуральных средах. Содержание углерода может влиять на усвоение азота в цианобактериях, что еще больше влияет на синтез белка. Таким образом, для стимулирования синтеза белка, в дополнение к улучшению содержания азота в питательных средах, следует повысить содержание углерода [3].

Для жизнедеятельности цианобактерий используется питательная среда Зарука, вода, подача воздуха в качестве аэрации и перемешивания среды. Продуцент является фотосинтезирующим и ему требуется постоянная освещенность 2000 лк. Процесс культивирования осуществляется при температуре 35 °С продолжительностью 10 суток. Поддержание pH на уровне 9,6 обеспечивается подачей питательных солей.

Концентрирование при помощи центрифугирования необходимо проводить с целью уменьшения влажности биомассы с 98% до 50...60% для эффективного выделения целевого компонента путем отделения от нее остатков питательной среды и продуктов жизнедеятельности без изменения химического состава клеток.

Клеточная стенка цианобактерий является жесткой из-за наличия одного или двух пептидогликанового слоя и препятствует экстрагированию продукта. Перед подачей биомассы на экстрагирование необходимо провести дезинтеграцию клеточных стенок для облегчения проникновения экстрагента и извлечения целевого компонента. Основываясь на физико-химических особенностях целевого компонента было целесообразно использовать ультразвуковой метод разрушения клеточных стенок. Для сокращения капитальных и эксплуатационных затрат экстрагирование следует проводить вместе с дезинтеграцией клеток одновременно.

Процесс разделения необходим для отделения белково-водной суспензии от отработанного экстрагента и пермеата (небелковый азот, углеводы, ДНК, хлорофилл) в целях улучшения процесса гидролиза. Очистку от этих загрязняющих веществ осуществляют при помощи ультрафильтрации.

Для получения антимикробных пептидов требуется выполнить гидролиз белков, который осуществляется при 37 °С под воздействием

ферментов. Этот процесс, известный как протеолиз, позволяет разрушать конкретные участки пептидных цепей.

Для разделения пептидов на фракции часто используют хроматографические методы.

В полученной фракции антимикробных пептидов процент влагосодержания составляет 65%. Для достижения требуемой влажности (6%) используется процесс сушки.

Фасовку антимикробных пептидов производят в герметичную упаковку с целью разделения объема на фиксированные порции и обеспечения защиты от внешних воздействий (прямые солнечные лучи, повышенная влажность, температура). Хранить антимикробные пептиды нужно обязательно в герметичной упаковке без доступа прямых солнечных лучей и влаги, так как под их воздействием препарат может поменять свою структуру. Температура хранения должна быть в пределах от 4 до 25 °С. Срок годности устанавливается средний, от 1 года до 5 лет.

### Список литературы

1. Isolation and characterization of an antibacterial peptide from protein hydrolysates of *Spirulina platensis* / S. Yijun, C. Rong, L. Qingye, L. Bosheng. // European Food Research and Technology. – 2015. – P. 8.
2. Algae and cyanobacteria as a source of novel bioactive compounds for biomedical applications. In Advances in Cyanobacterial Biology / S. Kini, M. Divyashree, M.K. Mani, B.S. Mamatha // Elsevier: Amsterdam, The Netherlands. – 2020. – P. 173 – 194.
3. Qian, L. Application of microalgae biotechnology for the sustainable development of aquaculture / L. Qian, X. Yu, C. Fufeng // Advances in Bioenergy. – 2021. – V. 6, No. 1. – P. 117 – 163.

*Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 57.08

*А. К. Брянкина, В. О. Миленина, А. А. Парамонова\**

### **ОЦЕНКА ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ЯБЛОЧНЫХ ЧИПСОВ, ОБОГАЩЕННЫХ МИКРОВОДОРОСЛЬЮ CHLORELLA**

Несбалансированное питание и нарушение его режима в настоящее время являются одной из главных проблем населения, приводящее к гиповитаминозу – постоянному низкому содержанию в организме одного или нескольких витаминов. Так, по статистике, даже при идеально составленном рационе питания на 2500 ккал человеку не будет хватать 20% витаминов и всего лишь 14% взрослого населения нашей страны обеспечены всеми витаминами [1]. Наряду с вышеперечисленными проблемами в последние десятилетия вырос интерес к продуктам с высокой пищевой ценностью – так называемым суперфудам – как к части сбалансированного рациона питания.

Чипсы на основе овощей и фруктов являются одним из наиболее распространенных суперфудов. Они популярны как у взрослых, так и у детей благодаря удобству потребления, многообразию вкусов и высокому сроку годности. Чипсы на основе высушенных яблок наиболее распространены благодаря широкому ареолу произрастания плодовых деревьев. В зависимости от зоны выращивания плодовых деревьев варьируется содержание веществ в яблоках (табл. 1).

Яблоки богаты углеводами, однако содержат малое количество таких необходимых для организма человека витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> и бета-каротина. Именно этих витаминов недостаточно в рационе людей. Так, средний уровень потребления в России витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> и бета-каротина равен 85, 77 и 56% от суточной нормы [1]. Кроме того, наблюдается низкое содержание белка. Для получения сбалансированного состава предлагается использовать биомассу микроводоросли рода *Chlorella*.

---

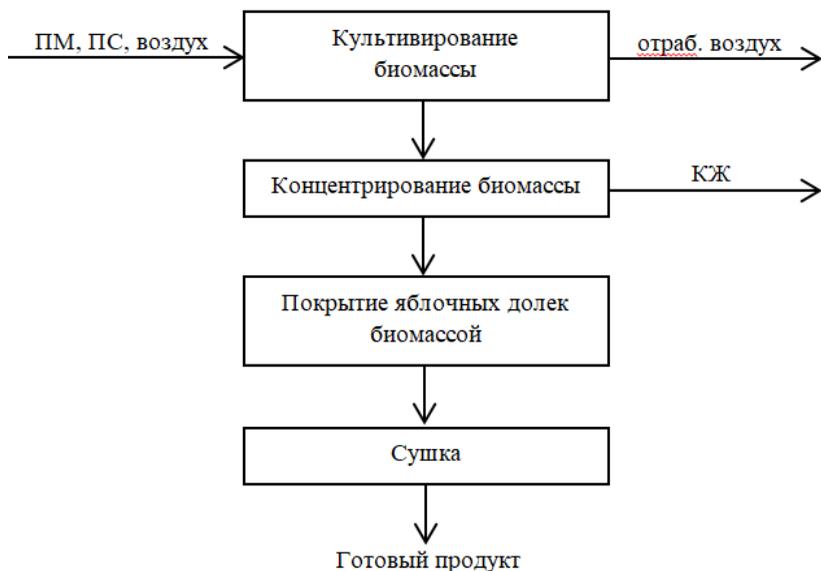
\* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора, заведующего кафедрой «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. С. Дворецкого.

## 1. Пищевая ценность яблок на 100 г [2]

Вещество	Содержание
Вода, %	77...90
Белок, г	0,3...0,4
Углеводы, г	0,4...10 г
Жиры, г	менее 0,1
Витамин В1 (тиамин), мг	0,03...0,09
Витамин В2 (рибофлавин), мг	0,02...0,05
Витамин С, мг	5...85
Витамин Е (ТЭ), мг	0,68
Бета-каротин, мг	0,04...0,06

Микроводоросли вида *Chlorella vulgaris* в пищевой промышленности играют все большую роль, ее употребляют в пищу люди из разных уголков планеты с давних времен. Биотехнология микроводорослей зародилась в 1940-х годах, а ее активное развитие началось в 60-70-е годы XX века в СССР, США, Японии и других странах. Благодаря дальнейшим фундаментальным и прикладным исследованиям была доказана коммерческая значимость производства микроводорослей в качестве источника ценных биологически активных веществ. Известны биологически активные добавки (БАД) на основе биомассы микроводоросли и ее метаболитов: высушенная порошкообразная биомасса, капсулированная и таблетированная биомасса, суспензия микроводоросли и др. [3].

Данная микроводоросль входит в десятку наиболее питательных продуктов в мире благодаря высокому содержанию в биомассе растительных белков со всеми незаменимыми аминокислотами, липидов (в 100 г порошка биомассы – 25...35 г липидов), витаминов (А, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>6</sub>), минералов (железо, магний, цинк), каротиноидов [4]. Яблоки и микроводоросль *Chlorella* являются компонентами растительного происхождения, поэтому при их совмещении будет наблюдаться взаимодополняющий эффект между биологически активными веществами в их составе. Таким образом, продукт будет представлять собой поливитаминный комплекс с повышенным содержанием белка.



**Рис. 1.** Эскизная схема получения витаминизированных яблочных чипсов

Для получения витаминизированных яблочных чипсов предполагается использовать дольки яблок кисло-сладких сортов типа «Чемпион», «Лигольд» и «Гала» в качестве матрицы для крепления биомассы микроводорослей, обладающей высокими адгезионными свойствами. Эскизная схема получения продукта представлена на рис. 1.

Важнейшей стадией в производстве микроводорослей является стадия культивирования. С помощью варьирования различными факторами в процессе культивирования микроводорослей возможно получение биомассы с различными характеристиками. Существуют разнообразные методики направленного культивирования: так, на среде с избытком азотистых соединений, микроводоросль *Chlorella vulgaris* может накапливать от 40 до 88% белка и 5% жира, а при дефиците азота и избытке углерода в питательной среде, наоборот, – 88% жира и 5% белка [4]. При добавлении в питательную среду глюкозы или периодическое облучение суспензии микроводорослей ультрафиолетом и ультразвуком малой мощности содержание каротинов может достигнуть 900 мкг/г биомассы, что превышает содержание каротинов в моркови, основном традиционном источнике, примерно в 9 раз. Таким образом, необходимо лишь 5,6 г биомассы микроводоросли *Chlorella* для удовлетворения суточной потребности человека в бета-

каротине (5 мг), являющимся прекурсором витамина А и мощным антиоксидантом.

После культивирования суспензия микроводорослей поступает на концентрирование для удаления балластной культуральной жидкости (КЖ). Далее сконцентрированная биомасса наносится на поверхность яблочных долек и высушивается при низких температурах для сохранения биологически активных веществ. В процессе сушки в клетках микроводоросли образуются микротрещины, что повышает усвояемость метаболитов. Высокие адгезионные свойства биомассы способствуют равномерному распределению и прочному закреплению на поверхности яблок.

Таким образом, витаминизированные яблочные чипсы будут иметь более сбалансированный состав благодаря дополнительному источнику дефицитных витаминов в виде биомассы микроводорослей. Кроме того, в биомассе содержится большое количество белка, что делает продукт особенно полезным для людей, занимающихся спортом, детей и беременных женщин.

### Список литературы

1. Коденцова, В. М. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы / В. М. Коденцова // Вопр. питания. – 2017. – Т. 86, № 4. – С. 113 – 124.
2. Виденов, Б. М. 700 советов садоводу любителю / Б. М. Виденов, Г. Т. Ковачев, С. Л. Манов. – София : Земиздат, 1972. – 415 с.
3. Туманова, А. Л. Доклинические исследования препарата на основе производных микроводоросли «Живая хлорелла», «Живых непатогенных пробиотических продуктов» и фитопродуктов черноморского побережья Кавказа / А. Л. Туманова, В. З. Агрба // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 7. – С. 73 – 77.
4. Nutritional evaluation of Australian microalgae as potential human health supplements / M. Kent, H. M. Welladsen, A. Mangott, Y. Li // PLoS One. – 2015. – V. 10, No. 2. – e0118985.

*Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*В. О. Миленина, А. К. Брянкина, А. А. Парамонова\**

## **ОМЕГА-3 ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ ИЗ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ**

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), основные причины смертности в России связаны с хроническими неинфекционными заболеваниями. В частности, к ним относятся сердечно-сосудистые заболевания, злокачественные опухоли, хронические болезни легких и сахарный диабет. Хронические неинфекционные заболевания являются основным фактором, определяющим общий уровень смертности в странах, как экономически развитых, так и развивающихся. В России, среди хронических неинфекционных заболеваний, сердечно-сосудистые заболевания являются главной причиной смерти населения.

Согласно данным Росстата, в 2019 году число смертей от сердечно-сосудистых заболеваний составило около 583 тысячи человек. Это примерно 41% от общего числа смертей в стране [1].

Одной из основных причин появлений сердечно-сосудистых заболеваний является высокий уровень холестерина в крови, который можно уменьшить с помощью специальных препаратов, содержащих Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК). В настоящее время основным источником Омега-3 жирных кислот является рыбий жир, в котором могут содержаться опасные химические вещества (например, ртуть), а также достаточно большое количество Омега-3 содержится в дорогостоящей рыбе. В связи с этим возникает потребность в поиске альтернативных источников Омега-3 ПНЖК.

Одним из наиболее перспективных источников Омега-3 жирных кислот считаются микроводоросли, которые являются первоначальными продуцентами Омега-3. Они имеют следующие преимущества:

- 1) короткий жизненный цикл;
- 2) Омега-3, полученный на основании микроводорослей, не загрязнены токсичными элементами и их процентное содержание не уступает таковому в «рыбьем жире» и даже превосходит его (например, *Hypomesus pretiosus* (малоротая корюшка) содержит 33,61% Омега-3, а микроводоросль *Chlorella mintissima* (хлорелла) – 39,9%).

---

\* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора, заведующего кафедрой «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. С. Дворецкого.

Поэтому целью данного исследования является изучение возможности получения Омега-3 жирных кислот из микроводорослей.

Для получения Омега-3 жирных кислот из микроводорослей необходимо провести следующие стадии:

- культивирование микроводорослей (цель стадии – накопления биомассы с повышенным содержанием целевого вещества);
- концентрирование (проводится с целью уменьшения влажности биомассы);
- дезинтеграция и сушка (проводится с целью увеличения эффективности процесса экстрагирования путем разрушения или повреждения клеточных стенок);
- экстрагирование (процесс, необходимый для выделения целевого продукта из гетерогенной смеси, состоящего из полярных и неполярных веществ, определенным растворителем – экстрагентом);
- отгонка экстрагента (применяют с целью очистки целевого продукта).

На данный момент существует проблема получения Омега-3 ПНЖК из микроводорослей. Эта проблема заключается в подборе условий культивирования, необходимых для повышения уровня жирных кислот в биомассе микроводорослей, и выборе безопасного экстрагента, который будет полностью отделяться от целевого продукта, не влияя на его свойства.

Накопление запасов липидов (в том числе Омега-3 ПНЖК) считается ответом на ограничивающие рост стрессы. Например, во время недостатка питательных веществ (например, азота) и при недостатке света клеточное деление многих морских микроводорослей приостанавливается, и клетки начинают накапливать липиды (в том числе Омега-3 жирные кислоты), что приводит к увеличению содержания липидов в 2–3 раза [2].

В настоящее время для извлечения Омега-3 жирных кислот из микроводорослей используют смесь хлороформа и метанола [3], которые являются опасными для здоровья человека, поэтому необходим поиск новых эффективных типов экстрагентов.

После отгонки экстрагента получается желтая жидкость без запаха и вкуса, которой необходимо придать определенную товарную форму.

На данный момент препараты, содержащие Омега-3 жирные кислоты, производят в двух видах – желатиновые капсулы и жидкость. Оба варианта имеют свои недостатки:

1) желатиновые капсулы не подходят для детей, так как их трудно проглатывать, и веганов (продажа продуктов для веганов увеличи-

лось на 45% в период с 2018 по 2022 годы), которые не употребляют продукты животного происхождения в любом виде;

2) жидкий препарат имеет меньший срок хранения (1 год) по сравнению с капсулами (2 года), так как Омега-3 ПНЖК окисляются на воздухе, теряя свои полезные свойства.

Это дает толчок для поиска альтернативных форм производства препаратов, содержащих Омега-3 жирные кислоты.

Альтернативной формой выпуска Омега-3 ПНЖК, полученных из микроводорослей, является желе и порошки.

Однако при воздействии высоких температур и воздуха Омега-3 жирные кислоты могут окисляться, теряя свои полезные свойства, что делает порошки неэффективными в качестве биологически активных добавок.

Желе, в свою очередь, наоборот может играть защитную роль для Омега-3. Однако, необходимо подобрать такой загуститель, который будет подходить большому числу людей (в том числе веганам и детям) и способный придавать желе стабильную структуру.

Как уже говорилось ранее, желатин нельзя использовать для изготовления желе для веганов, поэтому предлагается использование растительных загустителей, таких как агар-агар, гуаровая камедь и пектин.

Однако желе из агар-агара хрупкое и, чтобы получить хорошее качество данного продукта, требуется более тщательное соблюдение рецепта и более сложный процесс приготовления, чем при использовании желатина.

Использование крахмала в качестве загустителя также затруднительно, так как часто требуется добавление желатина для того, чтобы добиться нужной консистенции желе.

Гуаровая камедь содержит большое количество консервантов и отрицательно влияет на пищеварительную систему человека.

Пектин, как загуститель, имеет ряд преимуществ [4]:

1. Придает желе гладкую и однородную текстуру;
2. Пектин получают из ягод, яблок и цитрусовых, что хорошо влияет на органолептику желе;
3. Пектин связывает жиры и помогает снизить уровень холестерина в организме, что может уменьшить риск сердечно-сосудистых заболеваний.

Таким образом, желе на основе пектина позволит получить продукт, который будет оказывать двойной положительный эффект на здоровье человека.

Предлагается выделять пектин из выжимок, которые остаются при получении сока, что позволит уменьшить количество отходов данного производства.

Таким образом, целесообразно получать Омега-3 жирные кислоты, полученные из микроводорослей, в виде желе. Однако при производстве данного желе имеется ряд проблем, связанных с отсутствием пектина на российском рынке, несмотря на то, что потребность в нем 12 тыс. тонн в год и ежегодно растет на 3...4%, необходимым подбором условий культивирования для получения биомассы с повышенным содержанием Омега-3 ПНЖК, а также выбором экстрагента, который будет безопасно и эффективно извлекать целевой продукт из микроводорослей. Для решения этих проблем в будущем необходимо провести ряд исследований, которые будут направлены на получение пектина из различных источников (яблоки, ягоды, цитрусовые) и их сравнение, изучение биохимических особенностей накопления Омега-3 жирных кислот в микроводорослях и поиск безопасных экстрагентов для выделения целевого продукта.

### Список литературы

1. Здравоохранение // Федеральная служба государственной статистики. – URL : <https://rosstat.gov.ru/folder/13721#> (дата обращения: 26.09.23)
2. Sheehan, J. A look back at the US department of energy's aquatic species program: biodiesel from algae, close out report / J. Sheehan, T. Dunahay, J. Benemann, P. Roessler // National renewable energy laboratory. – 1998. P. 1 – 4.
3. Sayeda, M. Abdo Potential production of omega fatty acids from microalgae/ M. Abdo Sayeda // International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research. – 2015. V. 35. – P. 210 – 215.
4. Донченко, Л. В. Пектин: основные свойства, производство и применение / Л. В. Донченко, Г. Г. Фирсов. – М. : ДеЛи принт, 2007. – С. 5–6.

*Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*С. Е. Четова\**

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СЛАБОАЛКОГОЛЬНОГО ПЛОДОВОГО МЕДОВОГО НАПИТКА**

Меломель (melomel) – слабоалкогольный напиток брожения, готовится на основе меда, является разновидностью медовухи. В него обязательно добавляются ягоды, фрукты, овощи – в свежем виде или в виде соков, пюре, сухофруктов. Плоды в медовухе обладают характерным вкусом и хорошо сочетаются со сладким и дубильным балансом медовухи. Также могут добавляться различные специи. Крепость напитка варьируется от 2 до 18 градусов.

В настоящее время в России возрос спрос на слабоалкогольные напитки, так как большое внимание уделяется сокращению потребления крепких алкогольных напитков в пользу увеличения потребления напитков с низким содержанием этилового спирта. На основе одного только меда и ряда сопутствующих материалов можно произвести огромное многообразие различных напитков, ориентируясь на старинные рецептуры, фактически, все медовые напитки достойного качества будут пользоваться значительным спросом.

Также наблюдается рост спроса на нишевые алкогольные напитки, которые имеют особую концепцию и уникальный вкус. Меломель может стать одним из таких альтернативных вариантов, который привлечет внимание потребителей, стремящихся открыть для себя новые и необычные виды алкоголя.

Проведенный компанией Alto Consulting Group «Анализ рынка слабоалкогольных напитков» в России показывает такие данные: основные потребители слабоалкогольной продукции – молодые люди в возрасте 18 – 25 лет, а если взять данные по полу, то такую продукцию употребляют женщины. Эти категории потребителей больше подвержены рекламе. В сравнении с крепким алкоголем на такую продукцию цены ниже [1].

Использование натурального сырья играет значительную роль в разработке технологий слабоалкогольных медовых напитков, частично восполняя недостаток необходимых питательных веществ в организме человека.

---

\* Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента кафедры ФГБОУ ВО «ТГТУ» Е. В. Хабаровой.

За счет введения меда, различных плодов и обеспечения естественного брожения повышается пищевая ценность, увеличивается содержание незаменимых веществ природного происхождения, улучшаются органолептические показатели напитка.

Вкус медовухи может варьироваться в зависимости от источника меда, добавок, используемых дрожжей и процесса выдержки. Медовуха, приготовленная из фруктовых соков, специй и трав, может иметь разную терминологию: *Syser* – готовится с добавлением яблочного сока или свежих яблок. *Morat* – напитки с туювником. *Black Mead* – меломель с черной смородиной. *Red Mead* – с красной смородиной. *Rudamel* – меломель с малиной. *Pument* – готовится с использованием виноградного сока или зрелого винограда. *Omphacomel* – тоже добавляется виноград, только незрелый. *Bochetomel* – добавляются ежевика, черная малина, бузина, сам мед карамелизуется. *Rhodomel* – меломель с лепестками розы и плодами шиповника. *Bilbemel* – в напитке присутствует черника. Также изготавливают меломели с вишней, изюмом, различными специями – корицей, гвоздикой, шалфеем и т.д. [2].

Основной задачей разработки технологии медового напитков является сохранение питательных веществ из такого натурального сырья, как мед и добавленные плоды.

Основная роль меда в производстве медовухи – стимуляция бродительной активности, а также формирование качества, вкуса и аромата готового напитка. Для изготовления медовухи рекомендуют использовать мед натуральный, ароматных сортов. Параметры меда для медового напитка:

1. Мед не должен пениться. Хороший мед является бактерицидным. Пена на нем – показатель низкого качества. Мед теряет свою бактерицидность (пенится) только тогда, когда он разбавлен водой или сварен.

2. Консистенция меда может быть любой – на конечный результат этот фактор не повлияет.

Существует два основных способа приготовления медового сусла: горячий и холодный. В горячем способе осуществляется кипячение меда, что приводит к потере аромата и полезных свойств. Холодный же способ близок к виноделию. В этом случае мед растворяют, перемешивая в холодной или подогретой не выше 40 °С воде. Таким образом, аромат и различные биологически активные соединения меда сохраняются в максимально возможной степени. Этот способ хорошо подходит для светлых сортов меда, обладающих тонким ароматом и гармоничным вкусом [3].

Для приготовления медовухи применяют различные виды дрожжей *Saccharomyces*: хлебопекарные, винные, пивные, а также специальные дрожжи для медовухи. Однако хлебопекарные дрожжи могут придавать напитку запах и вкус бражки, поэтому их используют реже всего.

Интересным экспериментом может послужить добавление тыквенного поро в рецептуру медовухи для приобретения новых органолептических свойств и повышения пищевой ценности напитка.

Тыква наряду с медом является региональным сырьем в Тамбовской области.

Тыква – это источник антиоксидантных и полезных биологических свойств при производстве продуктов питания. В тыкве содержатся такие витамины, как: С, В1, В2, В6, Е, каротин, фосфора, соли калия, кальция, цинка, железа, меди, и др., богата фолиевой кислотой, важной для кроветворения; пантотеновой кислотой (витамин В3), недостаток которой приводит к нарушению обмена веществ.

Тыква содержит различные антиоксиданты, которые приносят большую пользу человеческому организму: разрушают свободные радикалы и не позволяют им повреждать здоровые клетки организма. Овощ содержит сразу несколько антиоксидантных веществ:  $\alpha$ -каротин;  $\beta$ -каротин;  $\beta$ -криптоксантин. Эти вещества обладают защитным действием для организма. В первую очередь –  $\beta$ -каротин, который трансформируется в витамин А. Он усиливает иммунную защиту и помогает в борьбе с инфекциями. В организме человека каротиноиды выполняют ряд физиологически важных функций, включая поддержание антиоксидантного статуса, участие в осуществлении зрительной функции, регуляцию роста и развития клеток. Наиболее изученный биологический эффект каротиноидов – провитаминная активность, которой обладают  $\alpha$ - и  $\beta$ -каротины, а также  $\alpha$ - и  $\beta$ -криптоксантины. Если рацион питания содержит значительное количество каротиноидов, снижается риск развития некоторых разновидностей рака, в частности рака легких, а также сердечно-сосудистых заболеваний.

Также в мякоти тыквы содержится витамин С, который увеличивает выработку лейкоцитов и повышает эффективность иммунных клеток. Усиливает поддержку иммунитета комбинация витамина Е, железа и фолиевой кислоты. Эти вещества, работая в тандеме, становятся более эффективными [4].

Основной показатель пригодности тыквы для переработки – содержание сухих веществ. Чем оно выше, тем выгоднее для производства, так как снижаются расход сахара и производственные затраты. В Тамбовской области выведена тыква сорта «Мичуринская»

с высоким содержанием сухих веществ. Краткая характеристика тыквы сорта «Мичуринская»: содержание сухого вещества 23...25%, общего сахара 5,8...9,5%, сумма каротиноидов 4,17 мг/%, каротина 5,2...7,7 мг на 100 г сырого вещества.

Исходя из этого цель предстоящей работы – разработка технологии плодового медового напитка с использованием регионального сырья для повышения пищевой ценности.

В дальнейшем планируется экспериментальным путем подобрать соотношение тыквенного пюре, меда и дрожжей. Так как медовое сусло с пюре является высокоплотным, а от сухих веществ зависит скорость и качество работы дрожжей, в первую очередь необходимо определить начальную концентрацию сухих веществ, обеспечивающую высокую скорость сбраживания. Кроме того, следует определиться с необходимостью использования подкормки для дрожжей и подкисления сусла. Оценивать целесообразность использования тыквенного пюре планируется по сравнению содержания каротиноидов в сусле до брожения и в конечном напитке, так же по органолептическим характеристикам готового напитка.

### Список литературы

1. Рынок сидра, пуаре, медовухи в России. Текущая ситуация и прогноз 2022 – 2026 гг. – URL : <https://alto-group.ru/otchet/rossija/3717-rynok-sidra-puare-medovuhi-v-rossii-tekuschaja-situacija-i-prognoz-2020-2024-gg.html>
2. Меломель – что за напиток?. – URL : [https://litra-beer.ru/o\\_kompanii/articles/melomel\\_chno\\_za\\_napitok/](https://litra-beer.ru/o_kompanii/articles/melomel_chno_za_napitok/)
3. Технология изготовления медовухи. – URL : [https://beverage-expert.ru/tehnologiya-izgotovleniya-medovukhi/?ysclid=ln09senb\\_58389004\\_145](https://beverage-expert.ru/tehnologiya-izgotovleniya-medovukhi/?ysclid=ln09senb_58389004_145)
4. Курагодникова, Г. А. Полезные свойства и пищевая ценность тыквы / Г. А. Курагодникова, В. М. Трунова // Наука и образование. – 2022. – Т. 5, № 2.

*Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

# ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ТЕХНОЛОГИЙ

---

УДК 667.6

*Д. О. Кузнецова\**

## РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННОГО АНТИКОРРОЗИОННОГО СОСТАВА, СОДЕРЖАЩЕГО АСФАЛЬТЕНУ И НАНОГРАФИТ

В наше время одной из критически важных задач является предотвращение коррозии на поверхности металлических трубопроводов. С развитием нефтегазовой промышленности возрастает потребность в надежных защитных покрытиях.

Коррозия представляет собой процесс разрушения металлов и сплавов при их взаимодействии с окружающей средой. Большинство трубопроводов находятся под землей или в воде, что делает их особенно подверженными коррозии, а доступ к ним ограничен. Поэтому необходима эффективная изоляционная защита, так как утечка нефти или газа может привести к экологической катастрофе.

В данной работе описывается модификация ранее разработанного состава битумной грунтовки, содержащей асфальтены.

На основе проведенных ранее исследований были получены следующие результаты испытаний (табл. 1).

Образец успешно прошел физико-механические испытания, после чего была изготовлена следующая партия битумной грунтовки и проведены коррозионные испытания (табл. 2).

Результаты испытаний приведены на рис. 1 и 2 соответственно.

Предполагается, что внесение в композит нанографита придаст составу новые улучшенные свойства.

Введение нанографита в состав лакокрасочных материалов (ЛКМ) может оказать разнообразное влияние на их коррозионные свойства, в зависимости от конкретных условий и дисперсии нанографита.

---

\* Работа выполнена под руководством доктора технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. В. Рухова.

**Таблица 1**

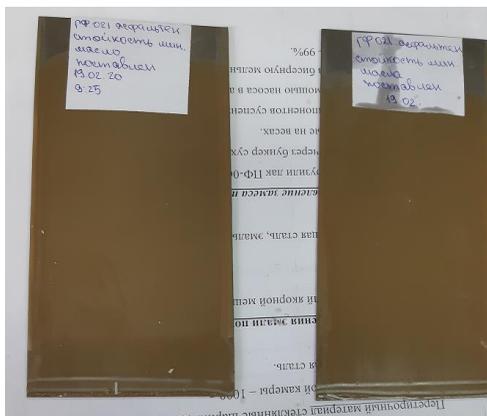
Наименование показателя	Норма
Степень перетира, мкм, не более	40
Условная вязкость при $(20,0 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ по вискозиметру ВЗ-4, с, не менее	75
Время высыхания до степени 3, не более при $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , ч	24
Адгезия пленки, баллы, не более	1
Твердость пленки по маятниковому прибору М-3, условные единицы, не менее	0,06
Прочность пленки при ударе на приборе типа У-1, см, не менее	50

**Таблица 2**

Наименование показателя	Испытание
Стойкость пленки к статическому воздействию 3 %-ного раствора хлористого натрия	В качестве эксперимента образцы выдерживались в растворе около 7 суток. Образец испытания прошел. Видно незначительное изменение цвета покрытия
Стойкость пленки к статическому воздействию минерального масла при $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$	В качестве эксперимента образцы выдерживались в растворе около 7 суток. Образец испытания прошел



**Рис. 1. Стойкость пленки к статическому воздействию 3 %-ного раствора хлорида натрия**



**Рис. 2. Стойкость пленки к статическому воздействию минерального масла**

Ниже приведены несколько способов, каким образом нанографит может влиять на коррозионные свойства ЛКМ:

1. Улучшение адгезии: Нанографит может улучшить адгезию (сцепление) между ЛКМ и поверхностью металла. Это способствует более плотному и прочному соединению, что снижает вероятность проникновения влаги и агрессивных химических сред в металлическую поверхность. Благодаря этому, нанографит может помочь предотвратить начало процесса коррозии.

2. Барьерные свойства: Нанографит может создать барьерный слой на поверхности металла, который может защитить металл от контакта с агрессивными средами, такими как влага и соли. Этот слой может замедлить процесс коррозии и предотвратить проникновение коррозионно-активных частиц.

3. Проводимость: Нанографит обладает хорошей электрической проводимостью. Это может быть полезным для создания электрохимических защитных систем, таких как анодная защита. Нанографит может служить эффективным анодом, что позволяет управлять и уменьшать коррозию металла.

4. Уменьшение площади коррозии: Нанографит может уменьшить доступность поверхности металла для коррозии путем создания барьера или заполнения микротрещин и пор на поверхности.

5. Снижение трения и износа: Уменьшение трения между ЛКМ и металлом, которое может быть достигнуто за счет нанографита, также может снизить механическое разрушение покрытия и, следовательно, уменьшить вероятность образования мест коррозии.

6. Реакции с коррозионно-активными частицами: Нанографит может взаимодействовать с коррозионно-активными частицами, что может замедлить химические реакции, протекающие на поверхности металла.

Однако следует отметить, что эффективность воздействия нанографита на коррозионные свойства ЛКМ может зависеть от множества факторов, включая конкретные условия эксплуатации, тип металла и среды. Поэтому для конкретных приложений необходимо проводить тщательное исследование и тестирование, чтобы оценить эффективность использования нанографита в защитных покрытиях от коррозии.

*Кафедра «Химия и химические технологии» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

**УДК 678.4.043**

***Р. В. Михайлов, Н. Н. Коробов, Д. А. Перов\****

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АКТИВАЦИИ УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА**

Высокопористые углеродные материалы являются одними из наиболее перспективных материалов для применения в качестве универсальных носителей различных сред в химической и нефтегазовой промышленности, фармацевтике и радиоэлектронике и целом ряде других. Это объясняется особенностями физико-структурных характеристик, к которым можно отнести инертность материала, большую удельную пористость и значительный объем пор, приходящихся преимущественно на нано- и мезометровый диапазон.

Данные материалы получают активацией исходного карбонизированного углеродного сырья щелочью, кислотой, водяным паром и т.п. при 600... 900 °С в инертной среде.

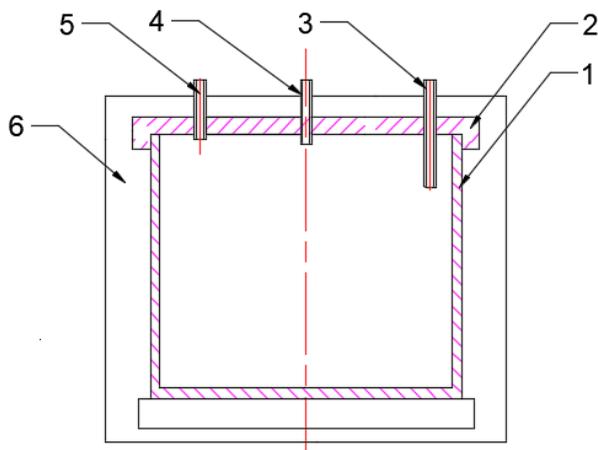
Анализируя проведенные ранее исследования, направленные на разработку аппаратурно-технологического оформления данного процесса, можно сделать вывод, что конструктивное оформление данного процесса, в целом, базируется на классических подходах

---

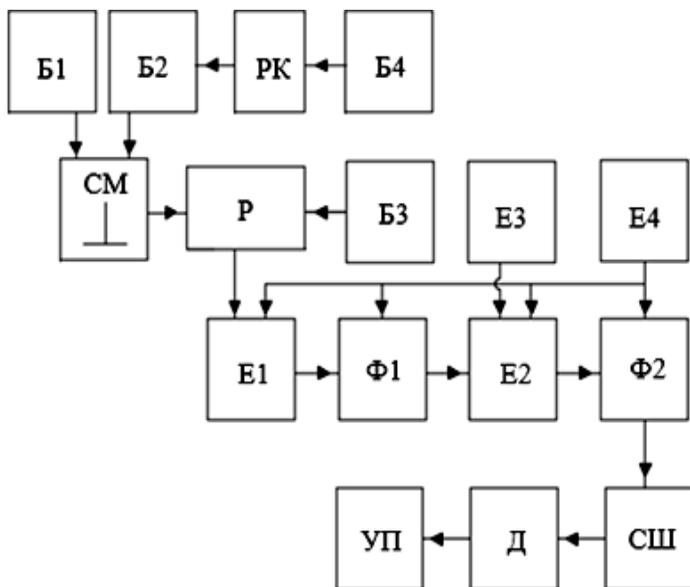
\* Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» И. Н. Шубина.

и оборудовании: используется стандартное оборудование – различные бункеры, емкости, смесители, запорная и контрольная арматура, являющиеся типовыми изделиями. Причем выбор определенного типа оборудования зависит от совокупности факторов, включающих в себя особенности реализуемого технологического процесса, а также мероприятий по типизации и стандартизации элементов конструкций [1]. Исключением является реактор химической активации, конструкция и габариты которого соответствуют требованиям по производительности, с учетом рабочей среды, режимов нагрева и охлаждения и т.д. (рис. 1).

Одной из основных задач при разработке и совершенствовании аппаратного оформления любого технологического процесса является разработка параметрических рядов изделий на основе унификации и оптимизации отдельных узлов и агрегатов. Рассматривая процесс активации углеродного материала, можно сделать вывод, основываясь на проведенных ранее исследованиях, что предложенная технологическая схема обладает высоким модернизационным потенциалом и возможностью масштабирования для перехода от лабораторного к опытно-промышленному и промышленному производствам и применению, в своем большинстве, типового оборудования и технологий [2].



**Рис. 1. Принципиальная конструкция реактора активации:**  
1 – корпус реактора; 2 – крышка реактора; 3 – штуцер для вывода газообразных продуктов химических реакций; 4 – штуцер для ввода инертного газа; 5 – штуцер для установки термометра; 6 – печь



**Рис. 2. Принципиальная схема аппаратурно-технологического оформления процесса химической активации углеродного материала:**  
*Б1, 2, 4* – бункеры для исходных материалов; *PK* – реактор для карбонизации;  
*СМ* – смеситель для получения реакционной смеси; *P* – реактор активации;  
*Б3* – баллон для инертного газа; *E1-2* – емкости для пост-обработки активированного материала; *Φ1-2* – фильтры для промывки активированного углеродного материала; *СШ* – сушильный шкаф; *Д* – диспергатор;  
*УП* – упаковочная машина

Ключевым элементом аппаратурно-технологического оформления процесса активации в нашем случае является реактор активации, поскольку именно он определяет проведение основного этапа технологического процесса – высокотемпературную химическую активацию и соответствующий выход целевого продукта. При этом типовая схема производства будет по сути неизменной при применении реакторов различного типа и производительности (рис. 2).

При проектировании реактора активации, применительно к протекающему процессу в целом, можно выделить ряд базовых составляющих, которые будут влиять непосредственно на конструкцию:

- *объем реакционной зоны* – параметр, определяющий общие габаритные размеры и косвенно влияющий на производительность, т.е. выход целевого продукта и режимные параметры процесса активации (скорость нагрева и охлаждения и т.д.);

– *расход исходного сырья и его соотношение при активации* – определяет уровень заполнения реактора, исполнение ряда конструктивных элементов (монтаж, размеры и установка патрубков для ввода/вывода газовых сред, термопары и т.д.), а также характеристики получаемого активированного углеродного материала;

– *подбор конструкционного материала* – для обеспечения безопасной эксплуатации оборудования – важнейший параметр, так как рассматриваемый процесс – это весьма напряженный процесс по температуре и рабочей среде [3];

– *выбор типа реактора в зависимости от реализации варианта активации* – как было установлено ранее, вариант активации оказывает непосредственное влияние на конструкцию и конструкционный материал реактора (более простая конструкция при высокой температуре реализации процесса или усложнение исполнения реактора при более низкой температуре реализации процесса) [2, 4].

– *подбор вспомогательного оборудования* базируется на классических подходах в проектировании химических процессов и стандартных типоразмерах оборудования, используемого в химической промышленности.

Таким образом, подводя итог проведенным исследованиям, в том числе экспериментальным, можно сделать вывод о том, что проектирование реактора для химической активации углеродного материала требует значительных предварительных лабораторных исследований для определения наиболее рациональных режимных параметров технологического процесса, а также представительных исследований по подбору конструкционных материалов для наиболее ответственных элементов технологической схемы, реализующей данный процесс (в первую очередь реактора активации, в реакционной зоне которого протекает высокотемпературный процесс при наличии крайне агрессивной среды). Вместе с тем можно отметить традиционность подходов применительно к рассматриванию процесса активации и возможность использования типового вспомогательного оборудования, что играет важную роль применительно к условиям реального промышленного производства.

### Список литературы

1. Шубин, И. Н. Совершенствование аппаратурно-технологического оформления производства высокопористого углеродного материала / И. Н. Шубин, А. А. Попова // Известия высших учебных заведений. – М. :Машиностроение, 2023. – № 6(759). – С. 58 – 65.

2. Shubin, I. N. Features of implementation options for the process of high-temperature activation of carbon material / I. N. Shubin, A. A. Popova // Journal of Advanced Materials and Technologies. – 2023. – No. 8(1). – P. 41 – 48.

3. Попова, А. А. Анализ влияния режимных параметров процесса высокотемпературной химической активации на конструкционный материал оборудования / А. А. Попова, И. Н. Шубин // Известия высших учебных заведений. – М. : Машиностроение, 2022. – № 8. – С. 24 – 32.

4. Шубин, И. Н. Исследование технологических параметров активации, влияющих на характеристики нанопористого углеродного материала / И. Н. Шубин, А. А. Попова // Материаловедение. – 2022. – № 11. – С. 3 – 8.

*Кафедра «Техника и технология производства нанопродуктов»  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

**УДК 678.028**

***А. И. Скоморохова\****

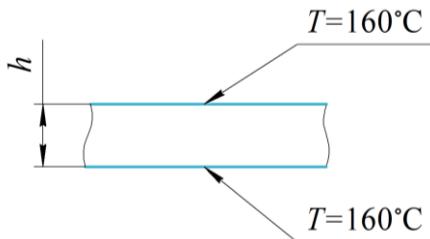
## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА СТЕПЕНИ ВУЛКАНИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ANSYS**

Наиболее распространенный метод вулканизации – вулканизация в пресс-форме под давлением. Резиновая смесь формируется в нагретой пресс-форме, которая затем замыкается между нагретыми плитами прессы [1]. При этом температура нагревательных плит прессы в зависимости от типа обогрева и состава вулканизируемой смеси, как правило, находится в интервале 140...170°C.

В данной работе температура нагревательных плит принималась равной  $T = 160^\circ\text{C}$ , начальная температура резиновой смеси составляла 20 °C. Тогда в одномерной постановке задачи расчетная модель вулканизации резиновой пластины толщиной  $h$  выглядит, как показано на рис. 1.

---

\* Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. О. Глебова.



**Рис. 1. Расчетная модель вулканизации резиновой пластины**

В расчетах процесса вулканизации используется нестационарное уравнение теплопроводности. Для модели, изображенной на рис. 1, оно записывается следующим образом:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \dot{Q}, \quad (1)$$

где  $c$  – теплоемкость, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  – теплопроводность, Вт/(м·К);  $\dot{Q}$  – удельное тепловыделение, Вт/м<sup>3</sup>.

Как правило, теплоемкость каучука с увеличением температуры увеличивается, а плотность уменьшается, поэтому в теоретических исследованиях произведение  $c \cdot \rho$  в уравнении теплопроводности считают постоянным и значения  $c$  и  $\rho$ , следовательно, константы. При описании параметров модели плотность и теплоемкость резиновой смеси протектора шины задавались  $\rho = 1127$  кг/м<sup>3</sup> и  $c = 717$  Дж/(кг·К) соответственно [2].

В процессе вулканизации теплопроводность резиновой смеси также не остается постоянной, а изменяется по линейной зависимости:

$$\lambda = a - \frac{b}{T}, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  – безразмерные эмпирические коэффициенты ( $a = 0,1612$ ;  $b = 2 \cdot 10^{-4}$  [2]).

Авторами работы [3] была предложена следующая модель для расчета продолжительности индукционного периода:

$$\bar{t} = \int_0^t \frac{dt}{t_0 e^{T_0/T}(T)}, \quad (3)$$

где  $t_0$  и  $T_0$  – константы материала (принимая  $t_0 = 4,104 \cdot 10^{-10}$  с;  $T_0 = 11713$  К [2]);  $T$  – температура, К;  $\bar{t}$  – безразмерный показатель окончания индукционного периода (когда показатель принимает значение 1, начинается этап вулканизации).

Для описания процесса вулканизации использовалась модель:

$$\left( \frac{\alpha_i}{1 - \alpha_i} \right)^{1/n} = \left( \frac{\alpha_{i-1}}{1 - \alpha_{i-1}} \right)^{1/n} + \left( \int_{t_{i-1}}^{t_i} k^{1/n} dt \right), \quad (4)$$

где  $\alpha$  – степень вулканизации;  $n$  – порядок реакции (принимая  $n = 2,91$  [2]);  $k$  – константа скорости вулканизации, описываемая уравнением Аррениуса:

$$k = k_0 e^{(-E/RT)}, \quad (5)$$

где  $k_0$  – постоянная, называемая предэкспоненциальным множителем ( $k_0 = 1,4 \cdot 10^{25}$  [2]);  $E$  – энергия активации ( $E = 260\,622$ ), Дж/моль;  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К).

Удельное тепловыделение из формулы (1) задавалось в расчетах следующим образом [4]:

$$\dot{Q} = Q_\infty \frac{d\alpha}{dt}, \quad (6)$$

где  $Q_\infty$  – удельная теплота реакции вулканизации ( $Q_\infty = 1,673 \cdot 10^7$  [2]), Дж/м<sup>3</sup>.

Для выполнения расчетов использовалась система конечно-элементного анализа ANSYS, в которой модель вулканизируемой пластины разбивалась на сетку  $8 \times 1$  из 4-узловых конечных элементов PLANE55. Так как модель симметричная, при расчетах рассматривалась только верхняя часть, как показано на рис. 2. Граничное условие первого рода (температура нагревательной плиты  $T = 160$  °С) накладывалось на верхнюю линию модели.

В процессе расчета температурное поле модели менялось, как показано на рис. 3.

Из рисунка 3 видно, что фронт максимальной температуры в процессе вулканизации движется от поверхности резиновой пластины к ее центру. Это объясняется тепловыделением химической реакции. По завершении вулканизации температурное поле постепенно выравнивается, и температура во всех частях резиновой пластины приближается к  $160$  °С.

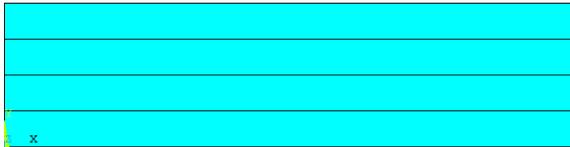


Рис. 2. Конечно-элементная модель резиновой пластины в системе ANSYS

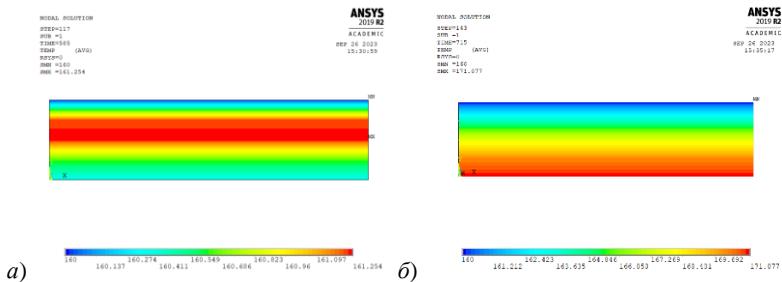


Рис. 3. Температурное поле резиновой пластины в моменты времени:  $a$  – 585 с;  $b$  – 715 с

В результате расчета были получены графики степени вулканизации и изменения температуры для наиболее удаленного от поверхности пластины конечного элемента (рис. 4).

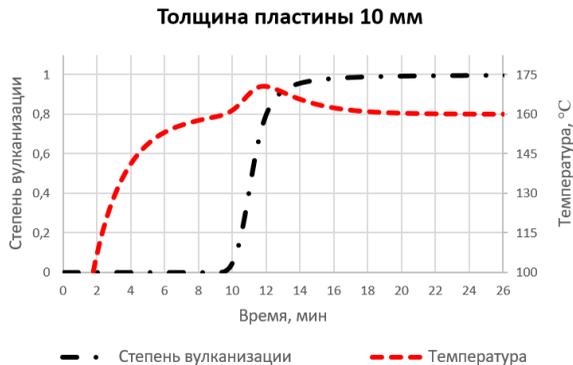


Рис. 4. Графики степени вулканизации и изменения температуры

Таким образом, представлен подход к теоретическому исследованию кинетики процесса вулканизации резиновой пластины в системе конечно-элементного анализа ANSYS. Его применение позволит сократить временные и материальные затраты на проведение физических экспериментов для определения оптимальных параметров процесса – времени и температуры.

### **Список литературы**

1. Оборудование и основы проектирования заводов резиновой промышленности / Н. Г. Бекин, Н. Д. Захаров, Г. К. Пеунков и др. – Л. : Химия. – 1985. – С. 219.
2. Ghoreishy, M. H. R. Three-dimensional finite element modeling of rubber curing process / M. H. R. Ghoreishy, G. Naderi // J. Elastom. Plast. – 2005. – Т. 37, No. 1. – P. 37 – 53.
3. Isayev, A. Nonisothermal vulcanization of rubber compounds / A. Isayev, J. Deng // Rubber Chem. Technol. – 1988. – Т. 61, No. 2. – P. 340 – 361.
4. Ghoreishy, M.H.R. A state-of-the-art review on the mathematical modeling and computer simulation of rubber vulcanization process / M.H.R. Ghoreishy // Iranian Polymer Journal. – 2016. – Т. 25, № 1. – P. 89 – 109.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы  
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 621.311

*Е. М. Николокина, Н. В. Земцова\**

### РАЗРАБОТКА ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

**Введение.** В последние годы экологические проблемы вызывают все большую озабоченность; спрос на «зеленую» энергию растет. Энергия ветра приобретает все большее значение как источник экологически чистой энергии с большим потенциалом и развитыми сферами применения. Электрогенераторы являются ключевым оборудованием для использования энергии ветра. К 2020 году мировая установленная мощность ветроэнергетики достигла 743 ГВт, увеличиваясь на 53% ежегодно. Ожидается, что в ближайшие пять лет новая мощность ветроэнергетики достигнет 355 ГВт. В связи с этим важное значение в развитии технологий ветроэнергетики играют технические решения в сфере создания высокоэффективных электрогенераторов, адаптированных для широкого класса задач ветроэнергетики.

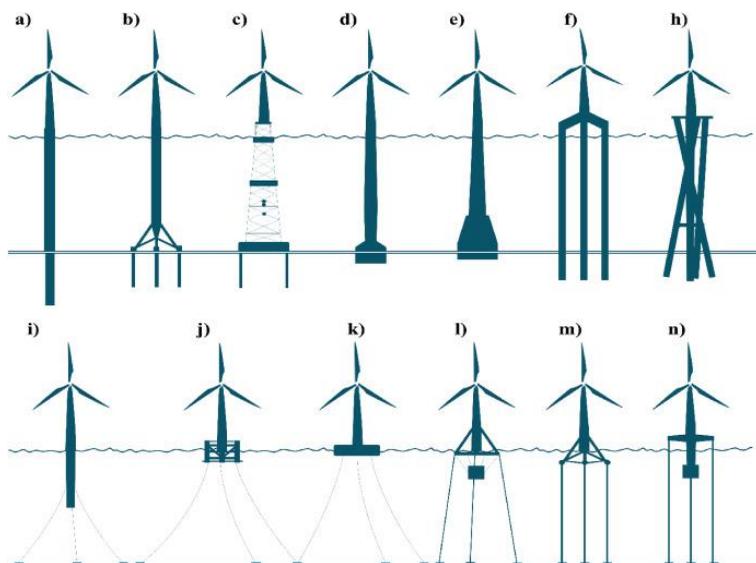
Секторы возобновляемой энергетики быстро росли за последние три десятилетия из-за экологических проблем, связанных с ископаемым топливом, и растущего спроса на энергию со стороны человека. Пространственно-временное поле потока на ветряной электростанции определяет выработку энергии и эффективность работы электрогенераторов. Интерес к сектору ветроэнергетики проистекает из долгой истории использования ветра для производства энергии людьми.

В настоящее время энергетика активно развивается в направлении генерации и преобразовании возобновляемых источников энергии. Анализируя возможности возобновляемой энергетики большинства регионов РФ наиболее оптимальной, является энергия ветра [1, 2].

Главным и весомым достоинством ветровой энергетики является ее бесконечность в ресурсе. Этот вид энергии и ее преобразование на мировом рынке развивается быстрее, чем любой другой вид возобновляемой энергетики.

---

\* Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. В. Щеголькова.



**Рис. 1. Схема различных типов ветряных установок.**

**Морские ветряные турбины с фиксированным дном, в том числе:**  
**(a) Монопила; (б) Тренога; (в) Оболочка; (г) Всасывающий кессон;**  
**(д) Гравитационное основание; (е) Тройная опора (з); Витая рубашка.**  
**Плавающие морские ветряные турбины, в том числе: (i) Рангоутный буй;**  
**(j) Полупогружной; (к) Баржа; (l) Маятниковый поплавок (m);**  
**Платформа натяжных опор (n); Усовершенствованный лонжерон**

Но существует проблема, связанная с получением электроэнергии из ветра, – это нестабильность ветрового потока, которая приводит к изменению частоты вращения ветроколеса, ротора генератора и, как следствие, напряжения электрического генератора в широких пределах. На рисунке 1 показаны различные варианты ветряных установок для генерации электрической энергии [1].

Согласно глобальному отчету о ветроэнергетике [2], в 2021 году мировая мощность ветроэнергетики достигла 733 ГВт, а общая установленная мощность ветроэнергетики в Китае достигла 282 ГВт. К странам с установленной мощностью ветровой энергии, превышающей 10 ГВт, относятся США (118 ГВт), Германия (62 ГВт), Индия (39 ГВт), Испания (27 ГВт), Великобритания (24 ГВт), Франция (17 ГВт), Бразилия (17 ГВт), Канада (14 ГВт) и Италия (11 ГВт). В последние годы предпринимались попытки дальнейшего развития технологии морской ветроэнергетики, и достигнут значительный прогресс. Европа играет ведущую роль: здесь сосре-

доточено 90% производителей ветряных турбин и 75% установленной мощности ветроэнергетики.

В этой связи необходимой и актуальной является разработка линейной установки генерации электрической энергии для стабилизации вышеперечисленных параметров при изменении климатических условий.

**Линейный электрогенератор для ветроэлектростанции.** Рассмотрим конструктивные особенности линейного электрогенератора, который предназначен для использования в ветроэлектростанциях разной местности и климатических условий (рис. 2).

Важными конструктивными элементами линейного электрогенератора являются катушка, шток и магниты, которые выдают оптимальные характеристики для бесперебойной работы ветроэлектростанций.

Оптимизация геометрических параметров элементов линейного электрогенератора с режимами работы, по сравнению с асинхронными генераторами, позволит увеличить максимальную КПД установки.

Предлагаемые улучшения позволят повысить выработку электроэнергии в пределах 20% в условиях нестабильности ветрового потока и нагрузки, за счет обеспечения работы ВЭС в расширенном диапазоне ветровых нагрузок от 2,5 до 35 м/с и более, а также конструкция установки позволит удешевить устройство в продаже и повысит экологичность в преобразовании энергии. Улучшение режимов накопления энергии, получаемой в условиях слабого или порывистого ветра, может быть обеспечено за счет использования дополнительного буфера установленного перед литий-ионными аккумуляторами на основе суперконденсаторов [3, 4].

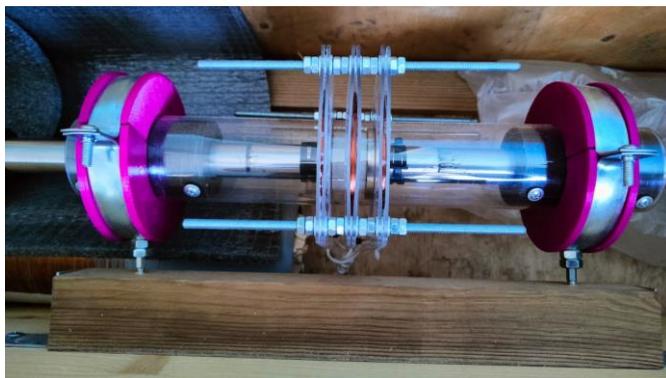


Рис. 2. Конструкция линейного электрогенератора

**Выводы.** В России активно используются генераторы для преобразования ветровой энергии и любой другой, но все они по своему максимальному КПД, габаритам и экономической оценке отстают от рассмотренного аналога. Недостатком предлагаемых конкурентами технических решений является использование асинхронных и синхронных генераторов, которые не могут обеспечить нужного режима генерации при слабом уровне ветра. В этом отношении предлагаемый линейный генератор является более оптимальным техническим решением и позволяет повысить эффективность маломощных ветроэлектростанций.

### Список литературы

1. Fatemeh Rezaei, Pasquale Contestabile, Diego Vicinanza, Arianna Azzellino, Towards understanding environmental and cumulative impacts of floating wind farms: Lessons learned from the fixed-bottom offshore wind farms, *Ocean & Coastal Management*. – 2023. – V. 243.

2. Council G. W. E. GWEC Global Wind Report 2019 // *Global Wind Energy Council: Bonn, Germany*. – 2017.

3. Гогорян, М. Л. Аспекты применения суперконденсаторов в электроэнергетике / М. Л. Гогорян, Н. В. Земцова, А. В. Щегольков // *Энергетика будущего – цифровая трансформация : сб. тр. III Всерос. науч.-практ. конф., Липецк, 14–15 декабря 2022 года*. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2022. – С. 227 – 229.

4. Применение углеродных нанотрубок, полученных CVD-методом, для суперконденсаторов с электролитом на основе LiPF<sub>6</sub> / А. В. Щегольков, М. С. Липкин, А. В. Щегольков, А. Семенкова // *Вопросы материаловедения*. – 2022. – № 1(109). – С. 64 – 76.

*Кафедра «Электроэнергетика» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 623.4.021.2

*А. А. Тришаков, О. А. Белоусов, А. О. Смирнов, Р. Д. Карих\**

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗИРОВАННЫХ АПЕРТУР ПРИ ПОСТРОЕНИИ РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАЛОСКОРОСТНЫХ НИЗКОЛЕТЯЩИХ МАЛОГАБАРИТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ**

В настоящее время идет бурное развитие отрасли беспилотных авиационных систем (БАС). Количество таких систем неуклонно растет, а спектр их применения становится достаточно широким. Это мониторинг и обработка сельхозугодий, доставка различных грузов, контроль защищенных периметров и т.д. Большой спектр решаемых задач БАС приводит к различным ситуациям, в частности, это прилет на закрытые территории вследствие изменения курса при потере сигнала навигационной системы, неисправности компонентов или ее инфраструктуры БАС и т.д.

Все вышеприведенные ситуации эксплуатации БАС приводят к тому, что необходимо осуществлять мониторинг полетов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в реальном времени и с последующей высокой степенью идентификации таких объектов [1, 2].

В большинстве случаев БАС представляют собой малые БПЛА, которые достаточно сложно идентифицировать за счет малых размеров, большой скорости перемещения и малой эффективной площади рассеивания (ЭПР). Для решения поставленной задачи предлагается использовать метод синтезированных апертур, работающий в сантиметровом и миллиметровом диапазонах.

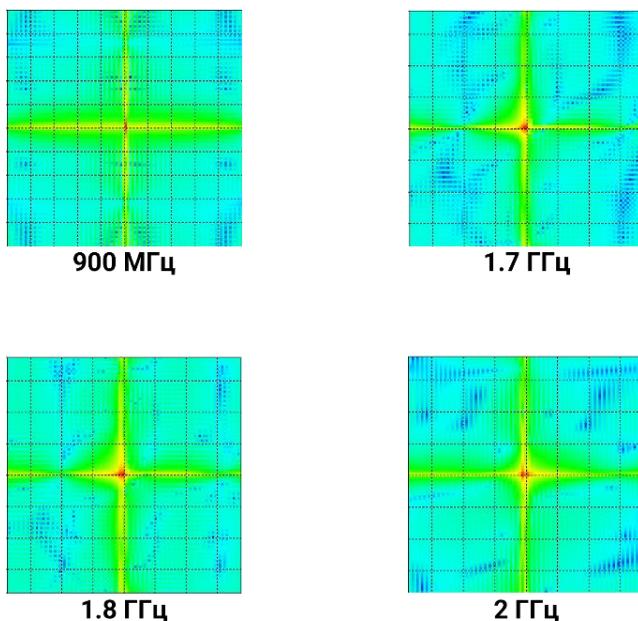
Метод синтезированных апертур (Synthetic Aperture) – это техника обработки сигналов и изображений, применяемая в радарх и других областях для улучшения разрешения изображения или данных путем совместного анализа сигналов, полученных с различных точек (апертур) источника или приемника [3]. Он позволяет создавать

---

\* Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» О. А. Белоусова.

изображения с высоким разрешением даже при очень маленькой ЭПР, преодолевая ограничения, связанные с размером антенны или апертуры.

Процесс синтеза апертуры включает в себя совместное использование данных, собранных с разных позиций или временных точек, для создания более детализированных изображений или данных (рис. 1).



**Рис. 1. Синтез апертур на разной частоте**

Обнаружение беспилотных авиационных систем (БАС) может осуществляться разными способами, в зависимости от целей и технических возможностей. Вот некоторые способы обнаружения БАС:

1. Радары: Радары способны обнаруживать БАС по их радиолокационной сигнатуре. Современные радары могут обнаруживать как большие, так и маленькие БАС на разных высотах и расстояниях.

2. Оптические и ИК-камеры: Оптические и инфракрасные (ИК) камеры могут быть использованы для визуального обнаружения и наблюдения за БАС в определенных условиях освещения.

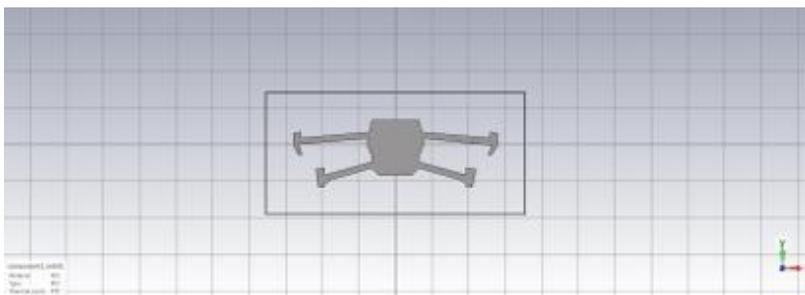
3. Акустические датчики: Акустические системы могут обнаруживать шум, создаваемый двигателями и винтами БАС. Этот метод может быть полезен в ближней зоне.

4. Электронное бортовое оборудование: для обнаружения БАС могут использоваться средства электронного бортового оборудования, такие как системы радиоподавления и радиоприема.

5. Системы идентификации: для дополнительной уверенности в обнаружении БАС могут использоваться системы идентификации, которые определяют тип и характеристики конкретной БАС.

Но возможности данных способов не всегда эффективны, в частности, с малогабаритными дронами в силу особенностей таких беспилотных воздушных судов: малой радиолокационной, телевизионной, оптической и акустической заметности; применяемых частотных диапазонов и структур сигналов управления, методов помехозащиты.

Применение искусственного интеллекта и метода синтезированных апертур позволит на большом расстоянии обнаружить БАС, сгенерировать радиологическое изображение и опираясь на существующую базу данных идентифицировать дрон (рис. 2, 3).



**Рис. 2. Построение радиологического изображения**



**Рис. 3. Идентифицированный дрон**

Таким образом, применение метода синтезированных апертур при построении радиолографических изображений в комплексах обнаружения БАС позволит увеличить скорость идентификации БПЛА с малым ЭПР и определить траекторию полета БПЛА и его координаты для последующей постановки пространственного барьера.

### Список литературы

1. Беспилотные летательные аппараты: библиографический указатель / сост. О. В. Давыденко ; под ред. Н. Н. Астаповой. – Кемерово : ИИО Кузбасской ГСХА, 2021 – 23 с.
2. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – 2-е изд., стереотип. – М. : Горячая линия-Телеком, 2013. – 384 с.
3. Митрофанов, Д. Г. Инновационный подход к вопросу обнаружения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов / Д. Г. Митрофанов, С. В. Шишков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2018. – № 1(195). – С. 28 – 40.
4. Осовский, С. Нейронные сети и обработка информации / С. Осовский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 334 с.

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 004.896 : 007.52 : 502.05 : 502.37 : 504.064

*В. Д. Аверченкова\**

### **ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Проведение экологического мониторинга очень важно, поскольку с ростом численности населения возрастает и негативное воздействие на окружающую среду. Именно поэтому нужен постоянный контроль за изменениями в биосфере для того, чтобы вовремя предпринять меры для защиты окружающей среды. Существует множество методов проведения экологического мониторинга – особой популярностью пользуется дистанционный метод, подразумевающий использование автоматических и механических устройств, таких как роботы [1].

Конечно, не каждое устройство может подойти под конкретную задачу, например, измерение концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы по всему исследуемому участку. Беспилотные летательные аппараты применяются для измерения только в верхних слоях атмосферы, работают недолго из-за малой емкости аккумулятора, и не могут быть использованы в темное время суток и при больших скоростях ветра. Другим устройством могут служить посты, но для измерения концентрации загрязняющих веществ по всей исследуемой площади нужно использовать их очень много, что достаточно дорого, и при этом создает большие неудобства как в их установке, так и в измерениях. А вот передвижные посты находятся под управлением исключительно человека [1].

И поэтому решением данной проблемы будет разработка мобильного экологического робота, обладающего универсальностью и многофункциональностью. Он может применяться для таких задач, как:

---

\* Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора А. Г. Дивина, кандидата технических наук, доцента А. В. Козачека, кандидата технических наук, доцента Н. И. Саталкиной, кандидата технических наук, доцента П. В. Рубинова, ФГБОУ ВО «ТГТУ».

- оценка экологической ситуации на полигонах твердых коммунальных отходов, представляющих большую опасность для природной среды, а также обнаружение несанкционированных свалок;
- выявление концентраций вредных веществ, превышающих предельно-допустимую норму;
- исследование состава атмосферы;
- наблюдение за природными характеристиками и редкими организмами;
- построение экологических карт местности [2].

Такая конструкция экологического робота позволит выполнять следующие действия:

- получение данных с разных точек при помощи датчиков, перемещаясь на дальнейшее расстояние по пересеченной местности в автоматическом или полуавтоматическом режиме;
- выполнение задач, которые задаются пользователем через специальное мобильное приложение;
- наблюдение на определенном участке за природными характеристиками;
- передача данных о своем местоположении, траектории движения, показаниях датчиков и изображениях камеры через сеть Wi-Fi на стационарное и(или) мобильное устройство пользователя;
- осуществление взятия проб воды, почвы и воздуха при необходимости [1].

Важным моментом является экономическая оценка целесообразности изготовления и использования экологического робота. Одним из факторов является экономическая эффективность проекта. Чтобы подсчитать себестоимость проекта следует учесть следующие затраты (издержки):

- комплектующие и материалы, которые потребуются для создания мобильного экологического робота;
- оборудование и инструменты для сборки и тестирования робота, включающие в себя паяльные станции, мультиметры, оснастки, компьютеры и т.д.;
- рабочая сила для сборки проекта (например, научные преподавательский состав или студенты, выполняющие работу как часть проекта);
- специализированное программное обеспечение;
- испытательные работы, представляющие собой перевозку робота на разные полигоны, расходы на транспортировку, затраты на топ-

ливо, запасные части для ремонта, а также места для проведения испытаний;

- сертификация для соответствия нормативам и стандартам;
- небольшой резервный фонд для покрытия непредвиденных расходов и изменений в размере 10% от общих затрат на проект.

После создания действующего прототипа мобильного экологического робота вся документация, наработки и программное обеспечение передаются на производство. Для массового производства может потребоваться покупка дополнительного оборудования, обучение и подготовка рабочих.

Рассмотрим стоимость комплектующих данного проекта. При разработке мобильного экологического робота могут быть использованы детали, которые были доступны для заказа через интернет. Это позволит существенно снизить как временные, так и денежные затраты на разработку прототипа, поскольку там обычно доступны по более низким ценам, чем аналоги. Зная стоимость каждой детали, можно рассчитать экономическую эффективность применения робототехнического устройства, представляющая собой суммарный эффект, создаваемый в производственной, экологической и социальной сферах с учетом издержек. Их общая величина включает в себя сумму необходимых для реализации проекта. Общая стоимость единовременных затрат на осуществление проекта составит 140 324,03 руб. (в ценах сентября 2023 г.).

Зная стоимость каждой детали, можно рассчитать экономическую эффективность применения робототехнического устройства, представляющая собой суммарный эффект, создаваемый в производственной, экологической и социальной сферах с учетом издержек. Экономический эффект определяется на основании официального инструктивно-нормативного документа, разработанного на основании методики 1986 года «UNIDO Manual for Preparation Feasibility Studies», осуществляющую соотношение выгод и затрат, полученных в результате реализации проекта. В соответствии с этим, для обоснования природоохранных затрат используются показатели общей и сравнительной эффективности. Общая (абсолютная) экономическая эффективность затрат экологического характера рассчитывается как отношение объема полного экономического эффекта к сумме вызвавших этот эффект приведенных затрат:

$$\mathcal{E}_3 = \mathcal{E} / (C + E_n \cdot K),$$

где  $\mathcal{E}_3$  – общая эффективность природоохранных затрат;  $\mathcal{E}$  – полный годовой эффект;  $C$  – текущие затраты;  $K$  – инвестиционные затраты,

определившие эффект;  $E_n$  – норматив эффективности капитальных вложений. Последнее представляет собой данное выражение:

$$E_n = 1/T,$$

где  $T$  – срок окупаемости капитальных вложений.

При среднем сроке окупаемости по народному хозяйству равном 8,3 года, норматив эффективности капитальных затрат  $E_n$  устанавливается в размере 0,12.

По предлагаемому проекту расчеты данных показателей, следующие:

$T$  = капитальные затраты/Доход (прибыль) от проекта.

В нашем случае в виде дохода принимаем величину экономии. Она составит примерно 420 000 руб.

Рассчитываем коэффициент эффективности по проекту ( $E_n = 1/T = 1/0,33 = 3,03$ ) и сравниваем с нормативным коэффициентом. По нашему проекту он предположительно превысит нормативный коэффициент. Применение цифрового мониторинга предположительно может обеспечить экономию расходов на его проведение на 0,1% к валовому региональному продукту. По данным Статуправления по Тамбовской области доля затрат на экологические мероприятия в нашей области составили в 2020 г. 0,9% к валовому рентному мультипликатору Тамбовской области. Валовой региональный продукт Тамбовской области составил в 2020 г. 378 676,8 млн. руб. Если снизить долю расходов на 0,1% за счет применения цифрового мониторинга, не изменяя долю остальных экологических расходов, экономия может составить 378,7 млн. руб.

На начальном этапе сборка мобильного экологического робота может осуществляться силами преподавателей и студентов нескольких кафедр, что может привести к ценным наработкам и опыту, которые могут оказаться полезными в долгосрочной перспективе, такими как:

- приобретение технических навыков в сборке, установке и обслуживании роботов и датчиков (могут быть применены и в других проектах);

- идеи и предложения по улучшению проекта, помогающие привести к разработке собственных технических решений и инженерных разработок;

- сборка и использование оборудования научного уровня будут способствовать развитию навыков командной работы;

- развитие навыков работы с большими объемами данных, их обработки и визуализации полученных от датчиков мобильного экологического робота;

– включение в учебные программы и пособия процесса сборки, что дает студентам практический опыт и улучшение качества их образования.

Первая сборка прототипа может занять от полугода с учетом создания программного обеспечения. При получении опыта сборки и смены комплектующих будет занимать до 1 месяца силами университета. Стоимость рабочей силы на данном этапе будет 0 руб., так как научные разработки преподавателей входят в их нагрузку, а практические и лабораторные работы студентов входят в их программу подготовки.

Следующие издержки, такие как: разработка программного обеспечения, проведение испытательных работ и получение сертификата для мобильного экологического робота предварительно трудно подсчитать, так как в процессе создания такого рода работ часто возникают неожиданные технические и научные проблемы, требующие дополнительного исследования и разработки, что замедлит процесс и добавит неопределенности.

С учетом перечисленных ранее затрат, а также имеющихся в ТГТУ наработок, навыков и компетенций можно прогнозировать, что общие расходы на разработку прототипа мобильного экологического робота составят 500 тыс. руб. Дополнительно, расходы на последующее производство каждого экземпляра составят порядка 140 тыс. руб.

Существуют ближайшие конкуренты, такие как квадрокоптер и передвижные автомобильные экологические лаборатории от ООО «Невалайн» и ООО «ДИЭМ». У первого цена начинается от 300 тыс. руб. К тому же, квадрокоптер практически не пригоден на малых приземных высотах по вышеизложенным причинам. Вторые начинают свои цены от 3400 тыс. руб., в зависимости от используемого автомобиля-носителя и аналогичного измерительного оборудования. Стоит отметить, что использование лаборатории на базе автомобиля на участках с карбоновыми полигонами может быть менее эффективным и даже невозможным из-за ограниченной проходимости и негативного воздействия на биосферу. Ближайший конкурент – квадрокоптер, цена на которого начинается от 300 тыс. руб.

Учитывая отсутствие на рынке мобильного экологического робота, предложенная модель становится экономически обоснованной. Учитывая имеющийся спрос на наземных экологических роботов с возможностью установки на них разных датчиков и измерительных приборов, учитывается их мобильность, автономность и автоматизацию измерений открывается перспектива наладить их мелкосерийное производство. Таким образом разработка, применение и производство

мобильного экологического робота представляют собой перспективное и экономически оправданное решение для исследований и мониторинга окружающей среды.

На данный момент разработан небольшой прототип мобильного экологического робота, на базе которого планируется создать устройство большего размера и функциональности и провести полевые испытания.

### **Список литературы**

1. Основные концепции мобильного экологического робота / В. Д. Аверченкова, А. В. Козачек, А. А. Комиссаров и др. // В. И. Вернадский: инженерная наука и образование для обеспечения безопасности и устойчивого развития регионов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Тамбов. – 2023.

2. Конструктивные элементы для обеспечения работы мобильного экологического робота / В. Д. Аверченкова, А. В. Козачек, А. А. Комиссаров и др. // XXV Юношеские чтения имени В. И. Вернадского «Современное развитие идей В. И. Вернадского как основа ценностей научного познания и просветительства», г. Тамбов. – 2023.

*Кафедра «Природопользование и защита окружающей среды»  
ФГБОУ ВО ТГТУ;*

*Кафедра «Мехатроника и технологические измерения»  
ФГБОУ ВО «ТГТУ».*

**УДК 504.06**

***Д. Д. Слеткова\****

### **«ЦВЕТУЩАЯ» БУМАГА**

Бумага – один из самых простых продуктов для переработки. Мы перерабатываем бумагу, чтобы превратить ее в новые бумажные изделия. Это предотвращает отходы, а также экономит ресурсы и энергию, используемые при изготовлении бумаги с нуля [1].

Повторно используя бумагу, мы продлеваем жизненный цикл материалов и уменьшаем выбросы углекислого газа в производственный процесс.

---

\* Работа выполнена под руководством доктора технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» И. В. Хорохориной.

Переработка бумаги помогает сократить выбросы парниковых газов.

Мы предлагаем перерабатывать макулатуру в полезные продукты, которые можно продавать и извлекать выгоду, не только финансовую, но, в то же время, просвещая людей, показывая, что все может иметь вторую жизнь. «Цветущая» бумага поможет уменьшить загрязнение окружающей среды, тем самым спасая экологическую обстановку в нашем регионе. Коэффициент сбора макулатуры в России составляет около 12%. Это в 4 раза ниже, чем на развитых рынках. За год в Тамбовской области на базе ТГТУ собрали более 24 тыс. кг макулатуры. Небольшой процент от этого мог бы пойти на изготовление нашей «цветущей бумаги», чтобы в будущем из нее выросли цветы.

Предлагаем организовать небольшую фирму в Тамбовской области по производству «цветущей бумаги» из вторсырья, чтобы как можно больше людей нашего города собирали макулатуру и наглядно видели, как можно дать вторую жизнь использованной бумаге.

Пользователями такой бумаги могут быть цветочные магазины, канцелярские магазины, детские образовательно-развлекательные учреждения (клубы), родители детей, а также есть спрос со стороны обычных покупателей в магазинах, которые собираются приобрести что-то необычное, экологичное в подарок. Также наши изделия можно приобрести на маркетплейсах, ведь это быстро и удобно

Нашими потребителями могут быть дети и их родители, люди, которым подарили цветы или товар из канцелярского магазина.

Любой человек может позволить себе приобрести наш товар и не переживать за загрязнение окружающей среды.

В России в год образуется порядка 8 млн т макулатуры, из них 7 млн. т пригодны к переработке. Сейчас собирается и отправляется на переработку уже порядка 4,5 млн. т (рис. 1).



Рис. 1. Объем рынка макулатуры

Основное потребление макулатуры в России, как и в других странах, обеспечивается производством картона, упаковочной и санитарно-гигиенической бумаги – около 75%, при производстве кровельных материалов потребляется около 20% макулатуры [2].

Российский показатель доли перерабатываемой макулатуры близок к мировому, который составляет около 65%.

«Цветущая бумага» не уступает по своим характеристикам обычной бумаге и картону. Ее легко можно сложить и выпрямить, имеет приятную текстуру. Семена, используемые при отливке бумаги, мелкие и не мешают писать или рисовать, что также повышает уровень комфорта использования.

Наша бумага экологична и несет вклад в природу. Семена с легкостью прорастают без создания определенных условий. Достаточно положить в грунт листок, полить водой и дать доступ солнечных лучей. И уже через несколько дней появятся первые ростки, которые преобразятся в изящные цветы.

В таблице 1 рассмотрены аналоги и конкуренты на рынке, а также приведены их преимущества и недостатки.

Наше преимущество перед другими производителями заключается в следующем:

*Невысокая конкуренция.* Проанализировав рынок, на данный момент есть предложения от 3 крупных производителей в Москве, Санкт-Петербурге, Петрозаводске.

*Широкие возможности развития бизнеса и его масштабируемость.*

*Отсутствие крупных вложений.* Ощутимых финансовых инвестиций на первых порах не потребуется. Позже, чтобы расширять бизнес, будут необходимы транспорт, оборудование, помещение под склад, персонал.

*Реализацию без НДС.* С 1 октября 2016 года в силу вступил закон, освобождающий лиц, реализующих макулатуру, от уплаты НДС.

Технология производства цветущей бумаги:

1. Подготовка
2. Смешивание бумаги с семенами
3. Заливка формы
4. Просушка
5. Нанесение рисунка на готовую бумагу (рис. 2).

Использование в качестве сырья макулатуры сокращает потребление электроэнергии и воды более чем на 70%. Тонна макулатуры сохранит около 20 деревьев и 2,5 м<sup>3</sup> места на полигоне ТБО.

**Таблица 1**

Название конкурентов/ аналогов	Описание аналога (характеристики)	Преимущества	Недостатки	Что можно позаимствовать?
<b>Profmagic</b>	Это бумага ручного отлива, в составе которой, находятся семена растений. Если ее посадить в землю из нее вырастут настоящие полевые цветы (гвоздика, колокольчик, ромашка)	Красочность	Ручной отлив бумаги. Находятся в Москве	Идею с карандашами
<b>«Суворов и Ко» – Мастерская Высокой Печати</b>	Производят замечательную бумагу с семенами растений! Бумага с семенами растений, мы отливаем ее вручную по классической технологии	Соотношение цена/качество	Ручной отлив бумаги. Находятся в Санкт-Петербурге	Персональная канцелярия
<b>CardStory</b>	Это экологичная бумага, с включениями семян. Если ее посадить в землю, семена прорастут, а сама бумага станет хорошей основой для роста растений. Никаких отходов, все, что останется, – это цветы	Цена	Находятся в Петрозаводске	Идею продукта (пригласительные открытки на свадьбу)



**Рис. 2. Открытки из переработанной бумаги**

Также при производстве бумаги используются токсические вещества, которые попадают не только в землю, но и в атмосферный воздух. Поэтому переработка макулатуры является не только экономически выгодным делом, но и помогает сохранить нашу планету чистой.

### **Список литературы**

1. Черная, Н. В. Технология производства бумаги и картона : учебное пособие / Н. В. Черная, В. Л. Колесников, Н. В. Жолнерович. – 2013.
2. Шашмурин, П. Г. Проблема переработки макулатуры в Российской Федерации / П. Г. Шашмурин, И. В. Рукавишникова // Система управления экологической безопасностью : сб. тр. XII заочной Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург : УрФУ, 2018. – С. 210 – 213.

*Кафедра «Природопользование и защита окружающей среды»  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

<i>И. А. Глазкова</i> К ВОПРОСУ МОНИТОРИНГА ГРУППОВОЙ РАБОТЫ ОПЕРАТОРОВ .....	3
<i>Е. В. Кошелев</i> ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ .....	8
<i>М. А. Любавина</i> ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ТРЕНИРОВКИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ ШКОЛЬНИКОВ .....	13
<i>А. О. Назарова, И. Н. Федорчук</i> РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ЭКГ ДАННЫХ ...	17
<i>П. Н. Никулин, Н. В. Земцова</i> АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ .....	21
<i>А. А. Волков, К. И. Патутин</i> СТРУКТУРА ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ АНАЛИЗА ПРОТОКОЛОВ ИСПЫТАНИЙ .....	24

### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЕ

<i>А. А. Минин</i> МУРАВЬИНЫЕ АЛГОРИТМЫ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДЕТАЛЕЙ ТИПА «ПОЛЫЕ ЦИЛИНДРЫ» .....	28
<i>А. А. Романцов, С. В. Лавырев</i> ЦИФРОВАЯ РАДИОГРАФИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ .....	35
<i>М. С. Балабаев</i> ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ ...	38
<i>А. В. Востриков</i> АКТУАЛЬНОСТЬ ПЕРЕВОДА СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦИФРОВОЙ ФОРМАТ .....	44

### БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИМЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

<i>А. А. Козеняшева</i> МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА .....	49
<i>В. А. Нестерова</i> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛЮТЕИНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОДОРОСЛИ CHLORELLA .....	53
<i>Т. В. Петерс</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФИКОЦИАНИНА ИЗ БИОМАССЫ ЦИАНОБАКТЕРИЙ SPIRULINA PLATENSIS .....	57

<i>В. В. Свиридов</i> ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ СВЕКЛО-САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	61
<i>В. С. Трунилина</i> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АНТИМИКРОБНЫХ ПЕПТИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИАНО-БАКТЕРИЙ <i>SPIRULINA PLATENSIS</i> .....	65

### **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ**

<i>А. К. Брянкина, В. О. Миленина, А. А. Парамонова</i> ОЦЕНКА ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ЯБЛОЧНЫХ ЧИПСОВ, ОБОГАЩЕННЫХ МИКРОВОДОРОСЛЬЮ <i>CHLORELLA</i> .....	69
<i>В. О. Миленина, А. К. Брянкина, А.А. Парамонова</i> ОМЕГА-3 ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ ИЗ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ .....	73
<i>С. Е. Чечетова</i> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СЛАБОУАЛКОГОЛЬНОГО ПЛОДОВОГО МЕДОВОГО НАПИТКА .....	77

### **ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

<i>Д. О. Кузнецова</i> РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННОГО АНТИКОРРОЗИОННОГО СОСТАВА, СОДЕРЖАЩЕГО АСФАЛЬТЕНА И НАНОГРАФИТ .....	81
<i>Р. В. Михайлов, Н. Н. Коробов, Д. А. Перов</i> ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АКТИВАЦИИ УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА .....	84
<i>А. И. Скоморохова</i> РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА СТЕПЕНИ ВУЛКАНИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ANSYS .....	88

### **ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**

<i>Е. М. Николюкина, Н. В. Земцова</i> РАЗРАБОТКА ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ .....	93
---	----

### **РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ**

<i>А. А. Тришаков, О. А. Белоусов, А. О. Смирнов, Р. Д. Карих</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗИРОВАННЫХ АПЕРТУР ПРИ ПОСТРОЕНИИ РАДИОГЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАЛОСКОРОСТНЫХ НИЗКОЛЕТЯЩИХ МАЛОГАБАРИТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ .....	97
---	----

### **ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

<i>В. Д. Аверченкова, А. В. Козачек, А. Г. Дивин, Н. И. Саталкина, П. В. Рубинов</i> ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА .....	101
<i>Д. Д. Слеткова</i> «ЦВЕТУЩАЯ БУМАГА» .....	106

Научное электронное издание

# ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Сборник научных статей  
молодых ученых, аспирантов и студентов

Выпуск XV

Редактирование Е. С. Мордасовой  
Графический и мультимедийный дизайнер Т. Ю. Зотова

**ISBN 978-5-8265-2662-0**



Подписано к использованию 20.10.2023.  
Тираж 100 шт. Заказ № 130

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, к. 14.  
Тел./факс (4752) 63-81-08  
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru