



НАУЧНЫЙ  
**АСПЕКТ**

na-journal.ru

2023

№11

TOM 31

УДК 001.8(082)

ББК 1

Н 34

*Периодичность – 12 раз в год*

Свидетельство ПИ № ФС 77-84349

**ISSN 2226-5694**

Состав ред. коллегии и сведения об учредителе  
приведены на сайте <https://na-journal.ru>

Н 34 НАУЧНЫЙ АСПЕКТ № 11 2023. – Самара: Изд-во ООО «Аспект»,  
2023. – Т31. – 130 с.

Журнал «Научный аспект» является научным изданием и отражает результаты научной деятельности авторов по различным дисциплинам в области гуманитарных, естественных и технических наук.

УДК 001.8(082)

ББК 1



Почтовый адрес: 420100 г. Казань а/я 9

Официальный сайт: <https://na-journal.ru>

Электронная почта: [public@na-journal.ru](mailto:public@na-journal.ru)

Подписано к печати 14.12.2023

Бумага ксероксная. Печать оперативная. Заказ № .

Формат 60×84 /16. Объем 7,8 п.л. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии «Куранты»

г. Казань, Сибирский тракт, 34к14, оф. 317, тел. +7 (843) 216-12-71

## Содержание

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

#### **Капустин Н. Д.**

Оптимизация передачи данных: анализ возможностей ускорения при постоянной скорости передачи..... 3779

#### **Бирих Э. В., Пронин А. Д.**

Актуальные методы и практика защиты от целевых атак..... 3786

#### **Шашин М. А.**

Использование встраиваемых виртуальных файловых систем при разработке защищенных приложений.....3791

#### **Брежнев В. Г., Беляева Е. В.**

Исследование компьютерных сетей для совершенствования методов управления качеством в аэропортовой деятельности.....3797

#### **Чечуров Н. Э.**

Анализ и проектирование волоконно-оптических линий связи с использованием интерактивных карт OPENSTREETMAP.....3804

#### **Бондякова Ю. И., Панова Д. С.**

Особенности реализации умного локомотива.....3812

#### **Петросов Д. А.**

Требования к имитационным динамическим моделям бизнес-процессов на основе теории сетей Петри.....3817

### ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА

#### **Ларин М. В., Кузнецов М. В., Проценко В. Г.**

Оценка применимости использования технологии лазерной наплавки для синтеза пористых покрытий.....3824

#### **Сафонова К. Р.**

Возведение модульных жилых сооружений на территории Хабаровского края.....3834

**Аленин А. Р.**

Оценка возможности увеличения эффективности парогенераторов энергетических установок, работающих на ядерном топливе.....3845

**Кривый Ю. В., Величко А. Г.**

Метод упрочнения поверхности прокатно-прессового инструмента с применением хром-кадмиевого электролита.....3851

**Ведерникова А. А.**

Краткий обзор исследований о расчетах прочности и устойчивости трубобетонных конструкций при внецентренном сжатии..... 3865

**Рыжикова Н. В.**

Влияние сцепления стержневой арматуры с бетоном на прочность и деформативность железобетонных конструкций. Обзорная статья.. 3880

**Лескова Е. А., Аниськина А. Н., Леденев С. А.**

Метод компенсации овализации магистрального трубопровода на этапе строительно-монтажных работ.....3887

**ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**Лю Ибин**

Краткий анализ технических проблем и решений, с которыми сталкиваются современные бензиново-электрические гибридные автомобили..... 3896

**Ли Ифэн**

Проектирование конструкции орнитоптера.....3900

---

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004

## Оптимизация передачи данных: анализ возможностей ускорения при постоянной скорости передачи

Капустин Николай Дмитриевич

студент Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича

***Аннотация:** Научная статья «Оптимизация передачи данных: анализ возможностей ускорения при постоянной скорости передачи» проводит исчерпывающий анализ современных методов улучшения скорости передачи данных при неизменной скорости передачи. В статье рассматриваются такие методы, как кэширование данных, сжатие информации и параллельная обработка. Особое внимание уделяется технологическим инновациям, включая применение искусственного интеллекта и новые сетевые технологии. В заключении подводятся итоги анализа, выделяются вызовы и перспективы развития в данной области, предоставляя основу для дальнейших исследований в области оптимизации передачи данных.*

***Abstract:** The “Optimization of data transmission: analysis of acceleration possibilities at constant transmission rate” scientific article provides a comprehensive analysis of modern methods of data transmission rate improvement at constant transmission rate. The paper discusses techniques such as data caching, information compression, and parallel processing. Special attention is given to technological innovations, including the application of artificial intelligence and new networking technologies. The conclusion summarizes the analysis, highlighting the challenges and future developments in the field, providing a basis for further research in data transmission optimization.*

***Ключевые слова:** передача данных, ускорение передачи, кэширование, сжатие данных, параллельная обработка, искусственный интеллект, технологии сетей, оптимизация передачи, технологические инновации, вызовы и перспективы.*

***Keywords:** data transmission, transfer acceleration, caching, data compression, parallel processing, artificial intelligence, network technologies, transfer optimization, technological innovation, challenges and prospects.*

В современном информационном обществе, где скорость передачи данных играет ключевую роль, оптимизация процесса передачи становится важным фактором для эффективного функционирования различных систем. Несмотря на постоянное увеличение пропускной способности сетей, существуют ограничения, которые делают актуальным вопрос ускорения передачи данных при постоянной скорости передачи.

Цель данной статьи — провести анализ существующих методов и технологических подходов, направленных на увеличение эффективности передачи пакетов данных при неизменной скорости. В рамках исследования рассматриваются традиционные методы, такие как кэширование данных и сжатие, а также новаторские подходы, включая применение искусственного интеллекта и современные технологии сетевого взаимодействия.

Анализ возможностей ускорения передачи данных не только акцентирует внимание на технических аспектах, но и предоставляет основу для понимания широкого контекста оптимизации сетевых процессов. Окончательные выводы и перспективы, представленные в заключении, подчеркивают важность дальнейших исследований для построения более эффективных и масштабируемых систем передачи данных в будущем.

На сегодняшний день передача данных играет ключевую роль в функционировании современных информационных технологий. Однако, несмотря на постоянное развитие сетевых технологий, существует ряд проблем и ограничений, которые влияют на скорость передачи данных.

**Ограничения пропускной способности:** Несмотря на постоянный рост пропускной способности сетей, существуют сценарии, когда объем передаваемых данных превышает доступную пропускную способность, что приводит к задержкам и потере качества связи.

**Рост объема передаваемых данных:** Современные приложения и сервисы требуют передачи больших объемов данных, таких как видео высокого разрешения, виртуальная реальность и облачные вычисления, что создает дополнительное давление на сетевую инфраструктуру.

**Глобальное распределение данных:** Глобальная природа многих современных организаций приводит к необходимости передачи данных на длинные расстояния, что может вызывать задержки из-за ограниченности скорости света в оптоволоконных кабелях.

Безопасность и шифрование: Распространенное использование шифрования данных для обеспечения безопасности также может сказываться на скорости передачи, особенно при работе с большими объемами информации. Развитие трафика IoT (Интернет вещей): Растущее количество устройств IoT, взаимодействующих в режиме реального времени, увеличивает нагрузку на сеть, что требует более эффективных методов передачи данных.

Анализ текущего состояния передачи данных подчеркивает необходимость поиска инновационных методов для улучшения эффективности и скорости передачи. В контексте этой статьи, важно рассмотреть, какие технологические подходы могут помочь преодолеть эти вызовы и улучшить процессы передачи данных при постоянной скорости передачи.

В контексте ускорения передачи пакета при постоянной скорости передачи, существует несколько основных методов, которые могут быть применены для оптимизации процесса передачи данных. Рассмотрим некоторые из них:

Кэширование данных:

Кэширование предполагает временное сохранение данных, которые уже были получены и/или обработаны. При запросе данных, система сначала проверяет наличие информации в кэше и, если она там есть, использует ее вместо повторного запроса к источнику данных. Кэширование может значительно сократить время передачи данных, особенно для часто запрашиваемых ресурсов.

Сжатие данных:

Сжатие данных уменьшает объем передаваемой информации путем удаления избыточности или использования более эффективных методов кодирования. После передачи, данные вновь разжимаются на стороне получателя. Эффективное сжатие может значительно сократить объем передаваемых данных, особенно полезно в случае больших файлов или потоков данных.

Параллельная обработка:

Разделение задачи на подзадачи, которые могут быть обработаны параллельно. В контексте передачи данных, это может означать разбиение больших файлов на части и передачу их параллельно. Параллельная обра-

ботка может увеличить общую скорость передачи, особенно при работе с множеством небольших файлов или фрагментов данных.

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения, и оптимальное решение может зависеть от конкретных характеристик системы передачи данных. Комбинированное использование этих методов может привести к значительному улучшению производительности, что особенно важно в условиях постоянной скорости передачи данных.

В области ускорения передачи данных существуют разнообразные технологические инновации, которые вносят значительный вклад в оптимизацию процессов передачи информации. Рассмотрим несколько ключевых технологических инноваций:

Искусственный интеллект (ИИ):

ИИ может быть использован для предсказания и оптимизации потребностей в передаче данных. Алгоритмы машинного обучения могут анализировать паттерны использования данных и предсказывать, какие ресурсы могут быть закэшированы или какие данные могут быть сжаты, что в конечном итоге ускоряет передачу.

Технологии кэширования на уровне сети:

Расширенное использование кэширования на уровне сети может включать в себя сетевые устройства, способные временно хранить данные на своем уровне. Это позволяет снизить задержки при повторных запросах, так как данные могут быть предоставлены ближе к конечным пользователям.

Продвинутое сетевое взаимодействие:

Инновации в области протоколов передачи данных, таких как QUIC (Quick UDP Internet Connections), обеспечивают улучшенные механизмы управления соединениями и более эффективную обработку ошибок, что может сократить задержки при передаче данных.

Оптимизация протоколов передачи данных:

Новые версии протоколов передачи данных, такие как HTTP/3, предоставляют более эффективный способ управления соединениями и обеспечивают более быструю передачу данных, особенно в условиях непостоянной сетевой среды.

Использование сетевых акселераторов:



Сетевые акселераторы предоставляют специализированные вычислительные ресурсы для обработки сетевых задач, таких как обработка протоколов и управление данными, что может значительно ускорить передачу данных.

Эти технологические инновации совместно работают для создания более эффективных и быстрых систем передачи данных, что особенно важно в условиях стремительного развития современных информационных технологий. Их успешная интеграция требует постоянного мониторинга и адаптации к изменяющимся требованиям и вызовам сетевой среды.

Дальнейшее развитие передачи данных сталкивается с рядом проблем, требующих внимания и инновационных решений:

**Ограничения пропускной способности:**

Несмотря на постоянное увеличение пропускной способности сетей, существует верхний предел, который может ограничивать возможности передачи больших объемов данных. Способом решения является развитие новых технологий передачи данных, таких как более эффективные методы сжатия или использование технологий 5G, которые предоставляют более высокую пропускную способность.

**Безопасность и конфиденциальность:**

Увеличение сложности методов шифрования и обеспечения безопасности может вызывать дополнительные задержки в передаче данных. Решением является разработка более эффективных методов шифрования и безопасности, которые не сильно замедляют передачу данных.

**Комплексность сетевой инфраструктуры:**

Сетевые инфраструктуры становятся все более сложными, особенно с увеличением использования облачных технологий и распределенных вычислений. С помощью развития управления сетями на основе искусственного интеллекта, автоматизации и оптимизации сетевых процессов возможно решить данную проблему.

**Совместимость стандартов и протоколов:**

Разнообразие сетевых стандартов и протоколов может затруднять совместимость и взаимодействие между различными системами. Решение проблемы это стандартизация и улучшение совместимости, возможно, через разработку универсальных принципов и интерфейсов.

Энергопотребление:

Рост объемов передаваемых данных приводит к увеличению энергопотребления сетевых устройств. Для решения необходимо развитие энергоэффективных технологий передачи данных и сетевых устройств.

Сетевая задержка:

Задержка в передаче данных может быть критичной для приложений, требующих мгновенной реакции, таких как виртуальная реальность или телемедицина. Решением является оптимизация протоколов передачи данных, использование Edge Computing для обработки данных ближе к их источнику. Решение этих проблем требует совместных усилий от индустрии, исследовательского сообщества и регулирующих органов для создания эффективных и устойчивых инфраструктур передачи данных в будущем.

Для дальнейшего развития перспективными являются следующие технологии и методы:

Интеграция 5G и 6G: Внедрение технологий 5G и последующее развитие 6G обещают значительное увеличение пропускной способности и снижение задержек в сети, что повысит скорость передачи данных.

Развитие Edge Computing: Продвижение вычислений на краю сети (Edge Computing) позволит обрабатывать данные ближе к источникам, снижая задержки и увеличивая эффективность передачи данных, особенно в сферах IoT и приложениях реального времени.

Квантовая передача данных: Исследования в области квантовой передачи данных могут привести к созданию более безопасных и эффективных методов передачи информации, обеспечивая высокую степень конфиденциальности.

Развитие технологий искусственного интеллекта: Использование алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта для более интеллектуального управления сетью и оптимизации процессов передачи данных.

Стандартизация и унификация: Продвижение унификации и стандартизации в области сетевых протоколов и технологий для обеспечения более гармоничного взаимодействия между различными системами и устройствами.

Развитие протоколов передачи данных: Дальнейшее совершенствование протоколов передачи данных, таких как HTTP/3, может улучшить процессы передачи данных, снизить задержки и повысить эффективность.

Улучшение энергоэффективности: Развитие технологий, направленных на снижение энергопотребления в процессе передачи данных, что особенно важно в условиях растущего объема передаваемой информации.

Инновации в области технологий хранения данных: Развитие новых технологий хранения данных, таких как квантовые технологии хранения, может ускорить процессы доступа и передачи информации.

Эти перспективы отражают направления, в которых ожидается наибольшее развитие в области передачи данных. Комбинированное внедрение этих технологий может привести к более быстрой, эффективной и безопасной передаче данных в будущем.

В заключение, перед нами стоит захватывающая эпоха в развитии передачи данных, где инновационные технологии и методы предоставляют новые возможности и вызовы. Анализ текущего состояния и перспективы развития указывают на несколько ключевых трендов.

Развитие технологий 5G и предстоящих 6G обещает революцию в пропускной способности и низкой задержке, что приведет к более быстрой и отзывчивой передаче данных. Внедрение Edge Computing дает надежду на снижение задержек и повышение эффективности обработки данных на уровне их источника. Технологии искусственного интеллекта становятся важным инструментом для оптимизации сетевых процессов, а развитие квантовой передачи данных может привести к новым уровням безопасности в передаче информации.

Однако, перед всеми этими возможностями стоят проблемы, такие как ограничения пропускной способности, сложность обеспечения безопасности и необходимость стандартизации. Будущее передачи данных требует совместных усилий индустрии, исследовательского сообщества и регулирующих органов. Стандартизация, инновации в области безопасности и разработка устойчивых энергоэффективных решений будут ключевыми факторами в создании более быстрых, эффективных и устойчивых систем передачи данных.

## Список литературы

1. Гельфанд А. М. и др. Разработка модели распространения самомодифицирующегося кода в защищаемой информационной системе // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки.— 2018.— № . 8. — С. 91–97.
2. Штеренберг С. И., Красов А. В., Цветков А. Ю. Компьютерные вирусы.— 2015.

УДК 004.056

## Актуальные методы и практика защиты от целевых атак

**Бирих Эрнест Владимирович**

старший преподаватель кафедры Защищенных систем связи  
Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций  
имени профессора М. А. Бонч-Бруевича

**Пронин Александр Дмитриевич**

студент факультета Инфокоммуникационных систем связи  
Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций  
имени профессора М. А. Бонч-Бруевича

***Аннотация:** Статья описывает целенаправленные атаки, известные как современные постоянные угрозы, которые специально созданы для вторжения в конкретные организации, сети или системы. Такие атаки используют сложные методы и инструменты, нацеленные на обход традиционных мер безопасности, чтобы оставаться незамеченными в течение продолжительного времени. Статья предлагает несколько методов и практик для защиты от направленных атак, включая анализ угроз, обучение сотрудников, использование инструментов безопасности, многофакторную аутентификацию, планирование реагирования на инциденты, обновление программного обеспечения, защиту от DDoS-атак и использование защищенных соединений. Заключение подчеркивает, что направленные атаки представляют серьезную угрозу для организаций, и внедрение эффективных мер защиты, таких как разведка угроз, обучение персонала и использование современных технологий безопасности, может*

значительно снизить риск успешного вторжения.

**Abstract:** *This article describes targeted attacks, known as advanced persistent threats, that are specifically designed to intrude into specific organizations, networks, or systems. Such attacks utilize sophisticated techniques and tools aimed at bypassing traditional security measures to remain undetected for extended periods of time. The article suggests several methods and practices to protect against targeted attacks, including threat analysis, employee training, use of security tools, multi-factor authentication, incident response planning, software updates, protection against DDoS attacks, and use of secure connections. The conclusion highlights that targeted attacks pose a serious threat to organizations, and implementing effective protective measures such as threat intelligence, employee training, and the use of modern security technologies can significantly reduce the risk of a successful intrusion.*

**Ключевые слова:** *целенаправленные атаки, современные постоянные угрозы, кибер-атаки, меры безопасности, анализ угроз, обучение сотрудников, инструменты безопасности, многофакторная аутентификация, план реагирования на инциденты, обновление программного обеспечения, DDoS-атаки, защищенные соединения, риски целенаправленных атак, киберпреступники, разведка угроз, уязвимости в программном обеспечении, эффективные меры защиты, снижение риска, безопасность информации, компьютерная безопасность.*

**Keywords:** *targeted attacks, modern persistent threats, cyberattacks, security measures, threat analysis, employee training, security tools, multi-factor authentication, incident response plan, software updates, DDoS attacks, secure connections, risks of targeted attacks, cybercriminals, threat intelligence, vulnerabilities in software, effective security measures, risk reduction, information security, computer security.*

.....

Целенаправленные атаки, также известные как современные постоянные угрозы, относятся к типу кибер-атак, специально разработанных для проникновения в конкретную организацию, сеть или систему. В таких атаках используются сложные методы и инструменты, которые настраиваются таким образом, чтобы обойти традиционные меры безопасности и оставаться незамеченными в течение длительного периода времени.

Существует несколько методов и практик, которые организации могут применять для защиты от направленных атак. К ним относятся:

1. Анализ угроз

Организации могут собирать и анализировать данные об угрозах, чтобы понять тактику, методы и процедуры, используемые субъектами угроз. Эта

информация может быть использована для обнаружения и блокирования атак, а также для усиления защиты.

## 2. Обучение и информирование сотрудников

Организации могут проводить регулярные тренинги, чтобы рассказать сотрудникам о рисках целевых атак и о том, как выявлять и сообщать о подозрительной активности.

## 3. Использование инструментов безопасности

Организации могут развернуть ряд инструментов безопасности, таких как системы предотвращения вторжений, брандмауэры, антивирусное программное обеспечение и решения по управлению информацией и событиями безопасности. Эти инструменты могут обнаруживать и блокировать вредоносный трафик, выявлять аномалии и тенденции, а также предоставлять предупреждения в режиме реального времени.

## 4. Многофакторная аутентификация

Организации могут внедрить многофакторную аутентификацию для повышения безопасности учетных записей пользователей. MFA требует от пользователей предоставления дополнительных факторов аутентификации, таких как биометрические данные или одноразовый пароль, в дополнение к имени пользователя и паролю.

## 5. Планирование реагирования на инциденты

Организации могут разработать и внедрить комплексный план реагирования на инциденты (IRP) для быстрого реагирования и смягчения последствий целевых атак. IRP должен включать процедуры по выявлению, локализации, анализу и ликвидации атаки, а также рекомендации по общению с заинтересованными сторонами и подведению итогов после инцидента.

## 6. Обновление программного обеспечения

Многие атаки основываются на уязвимостях в коде программ. Обновление ПО позволяет устранить слабые места и сделать систему более защищенной. Важно обновлять не только операционную систему, но и все установленные программы.

## 7. Средства защиты от DDoS-атак

DDoS-атака — это один из видов целевых атак, когда злоумышленник перегружает сервер, чтобы он перестал обрабатывать запросы. Чтобы этого не произошло, необходимо использовать средства защиты от DDoS-атак.

## 8. Защищенное соединение

Для передачи конфиденциальной информации следует использовать защищенные соединения. Например, SSL/TLS или VPN-соединения.

## **Заключение**

Следует отметить, что направленные атаки представляют собой растущую угрозу для организаций во всем мире, и организациям важно применять эффективные меры защиты, чтобы обезопасить себя. Используя разведку угроз, обучение и информирование сотрудников, инструменты безопасности, MFA и планирование реагирования на инциденты, организации могут снизить риск того, что они станут успешной мишенью для киберпреступников. В современной цифровой среде организации сталкиваются с постоянно эволюционирующими киберугрозами, и понимание эффективных методов защиты становится критически важным аспектом для обеспечения информационной безопасности. Развитие технологий также предоставляет киберпреступникам новые возможности, и поэтому организации должны постоянно обновлять свои стратегии и подходы к обеспечению безопасности. Регулярное обучение сотрудников не только повышает их осведомленность о возможных угрозах, но и создает культуру безопасности в организации, что является важным элементом защиты.

## **Список литературы**

1. Смит, Дж. (2019). «Современные методы кибератак: анализ и защита.» Журнал кибербезопасности, стр. 237–261.
2. Йохансен, А. (2016). «Обучение сотрудников по безопасности информации в контексте целенаправленных кибер-угроз.» Конференция по информационной безопасности, стр. 28–37.
3. Безопасность в сети: практическое руководство / Под ред. И. И. Иванова. — М.: Издательство, 2014. стр. 307–311.
4. Хакерские атаки и методы защиты / Автор И. П. Петров. — Город: Издательство, 2021. стр. 248–251.

5. Спецификации технологии безопасности в сети / Под ред. А. А. Антонова. — Издательство, 2022. стр. 257
6. Цифровая безопасность: принципы и практика / Автор Б. Б. Борисов. — Город: Москва. Издательство, Год 2019. стр. 408.
7. Ли, Ч., & Ким, С. (2017). «Применение многофакторной аутентификации в кибербезопасности.» Журнал информационной безопасности, том 2, стр. 209–212.
8. Гельфанд А. М. и др. Интернет вещей (IoT): угрозы безопасности и конфиденциальности // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2021).— 2021. — С. 215–220.
9. Котенко И. В. и др. Модель человеко-машинного взаимодействия на основе сенсорных экранов для мониторинга безопасности компьютерных сетей //Региональная информатика» РИ-2018».— 2018. — С. 149–149.
10. Казанцев А. А. и др. Создание и управление Security Operations Center для эффективного применения в реальных условиях //Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2019).— 2019. — С. 590–595.
11. Сахаров Д. В. и др. Использование математических методов прогнозирования для оценки нагрузки на вычислительную мощность IoT-сети //Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России».— 2020.— № . 2. — С. 86–94.
12. Гельфанд А. М. и др. Области применения аналитики больших данных в критических информационных инфраструктурах // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2022).— 2022. — С. 438–440.
13. Красов А. и др. Использование методов математического прогнозирования для оценки нагрузки на вычисления мощь сети IoT //Материалы 4-й Международной конференции по будущим сетям и распределенным системам.— 2020. — С. 1–6.



УДК 004.056

## **Использование встраиваемых виртуальных файловых систем при разработке защищенных приложений**

**Шашин Михаил Антонович**

студент Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций  
имени профессора М. А. Бонч-Бруевича

***Аннотация:** Данная статья посвящена технологии встраиваемых виртуальных файловых систем и ее использованию в безопасной разработке приложений. В статье рассматриваются особенности этой технологии, а также примеры ее применения в различных приложениях. Данная статья будет полезна разработчикам, которые заинтересованным в разработке безопасных приложений.*

***Abstract:** This article focuses on embedded virtual file system technology and its use in secure application development. The article discusses the features of this technology, as well as examples of its use in various applications. This article will be useful for developers who are interested in developing secure applications.*

***Ключевые слова:** встраиваемые виртуальные файловые системы, безопасность, изоляция процессов, безопасные методы программирования, шифрование.*

***Keywords:** embedded virtual file systems, security, process isolation, secure programming methods, encryption.*

---

### **Введение**

В настоящее время безопасность является одним из наиболее важных аспектов разработки программного обеспечения. В связи с этим, разработчики исследуют новые методы и технологии, которые могут помочь им создавать безопасные приложения. Одной из таких технологий является использование встраиваемых виртуальных файловых систем. Эта технология позволяет приложениям хранить файлы безопасно, надежно и конфиденциально. В этой статье мы рассмотрим, что такое встраиваемые виртуальные файловые системы и как они могут помочь в создании безопасных приложений. Важным аспектом безопасности является изоляция процес-

сов, которая может быть достигнута с помощью виртуальных файловых систем. Изоляция процессов позволяет предотвратить несанкционированный доступ к данным и повысить безопасность приложения в целом.

Встраиваемые файловые системы — это файловые системы, которые используются во встраиваемых системах, таких как мобильные устройства, автомобильные системы, медицинские приборы и т.д. Они отличаются от файловых систем, используемых на персональных компьютерах, тем, что они обычно имеют ограниченные ресурсы, такие как память и процессор, и могут быть оптимизированы для работы с ними.

Встраиваемые файловые системы могут быть различных типов, включая JFFS2, YAFFS, UBIFS и другие. Они могут использоваться для хранения данных, таких как настройки, журналы, медиафайлы и т.д.

Файловые системы могут быть различных типов, включая NTFS, FAT32, exFAT и другие. Конкретная файловая система определяет размер имен файлов, максимальный возможный размер файла и раздела, набор атрибутов файла.

Некоторые файловые системы предоставляют сервисные возможности, например, разграничение доступа или шифрование файлов. Эти данные она получает от драйвера файловой системы. Именно файловая система устанавливает, где и как будет записан файл на физическом носителе (например, жёстком диске). Для организации информации, кроме имени файла, используются также каталоги (или папки), как некая абстракция, позволяющая группировать файлы по определённому критерию.

В данной статье мы рассмотрим встраиваемую виртуальную файловую систему ZboxFS.

ZboxFS — это файловая система, позволяющая приложениям хранить данные безопасно, надежно и конфиденциально. Она поддерживает различные типы хранилищ, включая память, файловую систему операционной системы, RDBMS и хранилище объектов ключ-значение. Данные файлов упаковываются и шифруются перед записью в хранилище, и хранилище не имеет никаких знаний о данных файла. Она также имеет упрощенную файловую систему, которая специально разработана для безопасного хранения данных. Файловая система использует «Fnode» для описания объекта файла и каталога, который содержит метаданные

файла и ссылки на различные версии содержимого в хранилище. Она также поддерживает управление транзакциями, которое тесно работает с журналированием операций записи (WAL). ZboxFS не поддерживает механизмы, которые могут обеспечить общий доступ к нескольким процессам, такие как mount/FUSE. Она предоставляет доступ только одному процессу за раз. Данная файловая система используется для хранения файлов приложений, которые требуют высокой конфиденциальности и безопасности.

ZboxFS работает в самом приложении и использует различные базовые хранилища, предоставляя зашифрованную виртуальную файловую систему для него.

Многие файловые системы на уровне ОС поддерживают шифрование, например EncFS, APFS и ZFS. Некоторые средства шифрования дисков также предоставляют виртуальную файловую систему, например TrueCrypt, LUKS и VeraCrypt.



Рисунок 1. Отличия ZboxFS от других файловых систем и инструментов шифрования

## Архитектура файловой системы и принцип работы

Приложение запускает виртуальную файловую систему ZboxFS в том же пространстве памяти, что и ваше приложение. Она инкапсулирует данные в защищенный репозиторий Repo и предоставляет приложению API файловой системы.

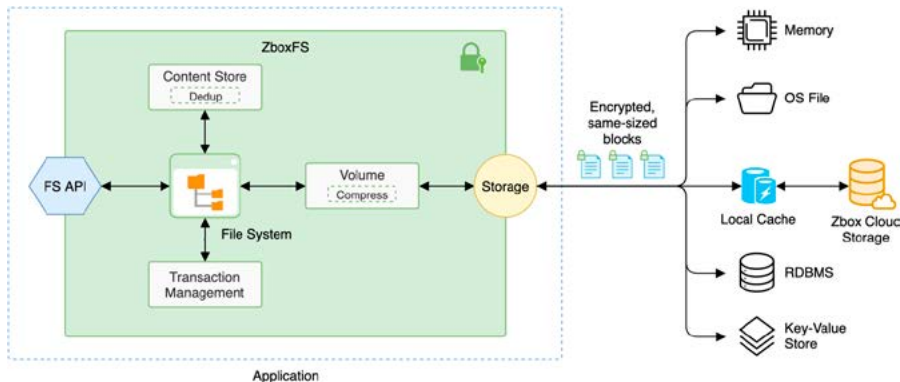


Рисунок 2. Архитектура файловой системы

Все данные, хранящиеся в репозитории, шифруются с использованием заданного пользователем ключа. Опционально данные могут быть де-дублированы и сжаты. При сохранении файла в Repo его содержимое и метаданные упаковываются в блоки одинакового размера и шифруются по отдельности.

Абстрагируясь от доступа к IO, ZboxFS поддерживает различные базовые хранилища, включая память, файл ОС, РСУБД и хранилище объектов с ключевыми значениями.

Для повышения производительности ввода-вывода используется локальный кэш, который также ничего не знает о данных приложения. Он также может использовать различные хранилища, такие как память, IndexedDB или локальные файлы [2, 3].

*Пример кода, реализующего базовый функционал ZboxFS*

```
extern crate zbox;

use zbox::{init_env, RepoOpener};

fn main() {
    // инициализация среды zbox
    init_env();
```

```

// создание и открытие репозитория
let mut repo = RepoOpener:: new()
    .create(true)
    .open("[your_repo_uri]", "secret password")
    .unwrap();

// получения метаданных репозитория
let info = repo.info().unwrap();
println!("{:?}", info);

// создание тестового файла и директории
repo.create_file("/file").unwrap();
repo.create_dir("/dir").unwrap();

// проверка существования пути
let result = repo.path_exists("/dir").unwrap();
println!("{}", result);

// получение метаданных пути
let metadata = repo.metadata("/dir").unwrap();
println!("{:?}", metadata);

// копирование файла
repo.copy("/file", "/file_copy").unwrap();

// переименование файла
repo.rename("/file", "/file_new").unwrap();

// удаление тестового файла и директории
repo.remove_file("/file_new").unwrap();
repo.remove_file("/file_copy").unwrap();
repo.remove_dir("/dir").unwrap();
}

```

## Преимущества ZboxFS

- Все данные шифруются локально, включая метаданные и структуру каталогов, поэтому утечка информации в базовое хранилище невозможна.
- Используются самые передовые алгоритмы шифрования: AES-256-GCM (аппаратный), XChaCha20-Poly1305, хеширование паролей Argon2 и т.д., на базе libsodium.
- Поддержка различных хранилищ, включая память, файловую систему ОС, РСУБД, хранилище объектов-ключей и др.
- Файлы и каталоги упаковываются в блоки одинакового размера для исключения утечки метаданных.
- Дедупликация фрагментов данных на основе содержимого и дедупликация на основе файлов.
- Сжатие данных с использованием LZ4 в быстром режиме, опционально версионирование содержимого файлов.
- Транзакционные операции ACID.
- Простой в использовании POSIX-подобный API файловой системы
- Кроссплатформенность, поддержка 64-разрядных ОС Linux, MacOS и Windows
- Многочисленные привязки к языкам программирования, C/C++, Rust, Node.js и Java, в ближайшее время появятся новые версии.

## Список литературы

1. Казанцев А. А. и др. Создание и управление Security Operations Center для эффективного применения в реальных условиях // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2019).— 2019. — С. 590—595.
2. Сахаров Д. В. и др. Использование математических методов прогнозирования для оценки нагрузки на вычислительную мощность IoT-сети // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России».— 2020.— № . 2. — С. 86—94.

3. Гельфанд А. М., Гвоздев Ю. В., Штеренберг С. И. Исследования недостатков языков высокоуровневого программирования для осуществления скрытого вложения в исполнимые файлы // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании.— 2015. — С. 295—297.
4. Шемякин С. Н. и др. Теоретическая оценка использования математических методов прогнозирования загрузки виртуальной инфраструктуры // Научные технологии в космических исследованиях Земли.— 2021. — Т. 13.— № . 4. — С. 66—75.
5. Гельфанд А. М. и др. Интернет вещей (IoT): угрозы безопасности и конфиденциальности // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2021).— 2021. — С. 215—220.

УДК 629.7.014

## **Исследование компьютерных сетей для совершенствования методов управления качеством в аэропортовой деятельности**

**Брежнев Виктор Георгиевич**

кандидат военных наук, доцент кафедры Организации аэропортовой деятельности и информационных технологий Ульяновского института гражданской авиации

**Беляева Елена Вадимовна**

кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой Организации аэропортовой деятельности и информационных технологий Ульяновского института гражданской авиации

***Аннотация:** Статья посвящена задачам, которые должны решать компьютерные сети и IT-технологии для совершенствования методов управления качеством в аэропортовой деятельности. Анализируются задачи сервисов компьютерной сети и современные IT-технологии, позволяющие повысить качество обслуживания пассажиров и повысить эффективность функционирования аэропорта.*

***Abstract:** The article is devoted to the tasks to be solved by computer networks and IT-technologies to improve the methods of quality management in airport activities. The tasks of computer*

*network services and modern IT-technologies are analyzed, which allow to improve the quality of passenger service and increase the efficiency of airport functioning.*

**Ключевые слова:** компьютерная сеть, IT-технологии, аэропорт, информационные системы, управление качеством.

**Keywords:** computer network, IT technologies, airport, information systems, quality management.

.....

Гражданская авиация РФ должна обеспечивать высокое качество авиа-услуг, соответствующее современным стандартам, а также их доступность для населения страны. Повышение основных показателей деятельности аэропортов, в первую очередь, уровня их услуг, напрямую влияет на улучшение репутации и имиджа российской гражданской авиации, увеличивая приток клиентов (авиакомпаний, грузоперевозчиков, пассажиров, арендаторов).

Для запуска эффективных механизмов, регулирующих качество услуг, необходимо периодически проводить определенные исследования и выполнять следующие действия:

1. Анализировать ведущие процессы аэропортовой деятельности, разрабатывать и внедрять системы, отражающие и контролирующие показатели качественного обслуживания пассажиров;
2. Исследовать актуальные ожидания пассажиров, получая от них живые отклики и обратную связь;
3. Совершенствовать бизнес-процессы, обеспечивающие баланс между расходами, прибылью и качественным ростом обслуживания;
4. Проводить тренинги и обучать персонал аэропортов, создавать для него подробные памятки и инструкции, а также документацию, регламентирующую все основные процессы;
5. За счет постоянной работы над улучшением качества предоставляемых услуг формировать имидж аэропортов, привлекательный для клиентов.

Любой аэропорт — активное узловое звено авиатранспортного процесса с достаточно сложной структурой, поэтому задачи повышения качества услуг требуют комплексного подхода, принимающего во внимание и основные, и дополнительные качественные параметры. На данный момент



разработано немало разнообразных методик, с помощью которых можно оценить качество обслуживания. Все они делятся на два вида: качественные методы и количественные методы. Сегодня чаще всего используют пять самых показательных методик, оценивающих качество услуг, которые различаются подходами к такой оценке: метод SERVQUAL; метод INDSERF; метод SERVPERF; метод критических случаев; метод Кано Н.

Надо учитывать, что аэропорт представляет собой структуру обслуживания и, в силу этого, не производит конкретного продукта, чем принципиально отличается от авиакомпаний, «продукт» труда которых — перевезенный багаж, пассажир, почта, груз. Поэтому, само собой разумеется, что система администрирования, так же как и критерии оценивания работы руководства аэропортов сильно отличаются от установок, действующих в области торгово-промышленного производства.

На административную аэропортовую деятельность влияют факторы, которые отсутствуют в деятельности обычных производств. Важнейшее отличие — оценка работы аэропорта выполняется не через конечный ее «продукт», а определяется опосредованно, исходя из уровня обслуживания клиентов, то есть уровня обеспечения их безопасности, надежности техники, пунктуальности и регулярности рейсов, пропускной способности аэропорта и соответствия современным требованиям к оснащенности [1].

Правовые вопросы, касающиеся аэропортовой деятельности, регулируют госорганы, при этом отдельные вопросы безопасности, экологии, управления собственностью могут решаться на уровне Правительства и Президента РФ.

Еще одно отличие от товарных предприятий и промышленных производств в техническом плане — режим работы аэропортов. Он имеет круглосуточный, постоянный и оперативный характер. Это означает, что кроме круглосуточного обслуживания авиационных перевозок необходима постоянная готовность к аварийным ситуациям независимо от времени суток. Оперативное реагирование на резко меняющиеся условия требуется и при оказании разноплановых услуг, поскольку состав клиентуры, авиакомпаний, пассажиров, отправителей и получателей грузов крайне неоднороден.

Поддержание состояния аэродрома, готового к эксплуатации в любых метеорологических условиях в любое время дня и ночи, с гарантией без-

опасного взлета и посадки ВС (воздушных судов) обязывает администрацию аэропорта принимать быстрые безошибочные решения, несмотря на значительные материальные расходы.

Для обновления аэропортовой инфраструктуры и периодических работ по реконструкции (зданий и служебно-технических сооружений, аэровокзалов, удобных подъездных путей) также нужны достаточно большие капитальные вложения, окупаемые далеко не сразу, а за довольно протяженный период от пяти до десяти лет. Данный факт сдерживает и участие частных инвесторов, и вложение государственных инвестиций [2].

Для того, чтобы эффективно реализовать перечисленные методики оценки качества услуг, необходим непрерывный сбор, хранение и обработка информации. Эту задачу позволяют решить современные цифровые технологии, в частности, компьютерные сети и информационные технологии (ИТ). В данной статье под компьютерной сетью понимается такая компьютерная сеть, которая выступает элементом системы управления аэропортом. Причем учитывается, что система управления аэропортом существенно отличается от систем управления производством материальных средств.

В настоящее время в больших аэропортах компьютерная сеть обеспечивает множество сервисов для пассажиров, авиакомпаний и других клиентов. Среди них:

#### ***Сервисы для авиакомпаний***

- предоставление стоянок, телетрапов, обогрева, электропитания 400 Гц для ВС (воздушных судов), предоставление услуг связи;
- оформление аренды офисов, автостоянок.

#### ***Сервисы для агентов по наземному обслуживанию***

- обслуживание зданий аэровокзального комплекса;
- обслуживание стоянок и перронов ВС, предоставление заземления, телетрапов, обогрева воздушных судов, питания 400Гц;
- стойки регистрации, посадки, трансфера пассажиров, терминалы для самостоятельной регистрации;
- автоматизированная обработка и сверка багажа;
- предоставление информации о рейсах;
- досмотр грузов, пассажиров, багажа, почты;

- оформление аренды офисов, автостоянок;
- передача данных, различные способы связи;
- видеонаблюдение, системы безопасности.

**Сервисы для пассажиров** — справочно-информационные услуги, обслуживание привокзальной территории, автостоянок, залов ожидания, камер хранения, услуги грузчиков и клининга.

***Сервисы для операторов аэропорта***

- обслуживание перрона аэровокзального комплекса для обеспечения стоянки ВС из других терминалов;
- обслуживание видеонаблюдения и систем безопасности в так называемой режимной зоне.

***Сервисы для хендлинг-агентов и партнеров по авиабизнесу***

- аренда либо концессия офисов и зданий аэровокзального комплекса;
- стоянки ВС, топливная система для их заправки;
- информация по пассажирам, их багажу, грузам, рейсам;
- досмотр пассажиров и багажа;
- автостоянки и крытая парковка;
- передача данных, различные способы связи;
- видеонаблюдение, системы безопасности.

***Сервисы для концессионеров***

- концессия либо аренда офисных помещений и площадей аэровокзального комплекса;
- стойки и терминалы для регистрации бизнес- и VIP-пассажиров;
- средства информирования;
- автостоянки и крытая парковка;
- досмотр пассажиров;
- видеонаблюдение, системы безопасности;
- передача данных, различные способы связи.

***Сервисы для госорганов***

- офисы и помещения аэровокзального комплекса;
- стоянки ВС и перрон;
- информация по пассажирам, их багажу, грузам, рейсам;
- автостоянки;
- статусы обработки, досмотра, сверки пассажиров и их багажа;

- видеонаблюдение, системы безопасности;
- передача данных, различные способы связи.

Сегодня специалисты по коммуникационным и информационным технологиям активно разрабатывают инновационные системные проекты для эффективного решения задач аэропортовой деятельности.

Таблица 1. **Проекты систем для решения задач аэропортовой деятельности**

Система	Задача
СКС, УАТС и др.	Кабельная сеть, системы сигнализации и связи
BMS (Building Management System) — система управления зданием	Управление инженерными системами зданий
LAN (Local Area Network) — ЛВС и активное сетевое оборудование	Инфраструктура и система управления ЛВС
Wi-Fi	Услуги посетителям и пассажирам, обработка багажа
INET — средства доступа в Интернет	Доступ в Интернет для оператора АВК и пассажиров
WAN (Wide Area Network) — доступ в глобальные авиационные сети	Инфраструктура для доступа к хостовым приложениям и приложениям авиакомпаний
AFTN/Sitalex - авиационные телеграфные системы	Обмен сообщениями о движении и загрузке ВС, статусе рейсов
BSI (Baggage System Interface) — интерфейс с багажными системами	Система доставки багажных сообщений для систем BRS/BHS
BRS (Baggage Reconciliation System) — система сверки багажа	Производственная система для обработки багажа
CUTE (Common Use Terminal Equipment) — платформа совместного использования стоек регистрации и выходов на посадку	Производственная платформа для регистрации пассажиров, багажа, контроля посадки на борт ВС
CUSS (Common Use Self- Service) — платформа самостоятельной регистрации совместного использования	Производственная платформа для регистрации пассажиров, багажа, контроля посадки на борт ВС
CLF (Common Language Facility) — единый интерфейс пользователя для систем регистрации	Производственная система для регистрации пассажиров и багажа

Система	Задача
AFA (Automatic Flight Announcement) — автоматическая система объявлений по рейсам	Производственная система для автоматических объявлений рейсов с синтезом голоса
AODB/MIS (Airport Operational Database) — производственная БД и информационная система управления АВК	Центральная производственная БД с информацией по рейсам
RMS (Resource Management System) — система управления ресурсами	Производственная система для управления авиационными ресурсами АВК
FIDS (Flight Information Display System) — система отображения информации по рейсам	Производственная система для отображения служебной и пассажирской информации по рейсам на мониторах и табло
DIS (Data exchange Integration Solution) — интеграционное решение по обмену данными	Информационный обмен между производственными и учетными структурами
BHS (Baggage Handling System) — система обработки багажа (COB)	Конвейерная система для автоматизированной многоступенчатой сортировки и досмотра багажа
VDGS (Visual Docking Guidance Sytem) — визуальное средство наведения ВС при заруливании на стоянку	Парковка ВС на контактную стоянку под телетрап
400Hz GPU (Ground Power Units) — наземные источники бортового питания 400Гц	Учет потребления ВС от наземных источников бортового питания 400Гц
ERP (Enterprise Resource Planning) — система управления предприятием	Система учета и управления предприятием

Таким образом, для совершенствования методов управления качеством в аэропортовой деятельности требуются современные подходы к организации компьютерных сетей и всестороннее использование информационных технологий (ИТ), которые должны поддерживать и обслуживать указанные выше сервисы.

### Список литературы

1. Ефимов В. В. «Средства и методы управления качеством: учебное пособие» — М.: КНОРУС, 2007. — 232 с.

2. Волкова Л. П. «Управление деятельностью аэропорта. Часть 2. Организационные основы управления деятельностью аэропортов». Москва — 2007.
3. Костромина Е. В. «Авиатранспортный маркетинг». — М.: НОУ ВКШ «Авиабизнес», 2003.
4. Кане М. М., «Системы, методы и инструменты менеджмента качества»: Учебное пособие. — СПб.: Питер, 2008.— 560 с.: ил.— (Серия «Учебное пособие»).

УДК 004.73

## **Анализ и проектирование волоконно-оптических линий связи с использованием интерактивных карт OPENSTREETMAP**

**Чечуров Никита Эдуардович**

студент Уральского государственного горного университета

***Аннотация:** Технологии обновляются настолько быстро, что сложно уследить за всеми новинками и разработками. Новые методы позволяют улучшить, ускорить задачу, решить ее эффективно, сэкономив все, человеческие ресурсы и самое главное время. В данной статье представлен анализ и оценка процесса при планировании плана ВОЛС с использованием системы OPENSTREETMAP(C).*

***Abstract:** Technologies are updated so quickly that it is difficult to keep track of all the novelties and developments. New methods allow improving and speeding up the task, solving it efficiently, saving both human resources and most importantly time. This paper presents an analysis and evaluation of the process in planning a FOCL plan using OPENSTREETMAP(C) system.*

***Ключевые слова:** системный подход, проектирование, геоинформационные системы, картография.*

***Keywords:** systems approach, design, geographic information systems, cartographic image*

В качестве предмета исследования рассматриваются показатели качества при проектировании сети интернет автоматизированным способом.

## **Цель исследования**

Целью научной статьи является исследование и анализ проектирования, выявление их недостатков и разработка способа, реализуемого для автоматизированной системы.

## **Задачи исследования**

- исследование существующих подходов и решений по расчёту работ и материалов;
- исследование возможности применения автоматизированных способов проектирования сетей интернет с помощью интерактивных карт OpenStreetMap©;
- исследование показателей экономии времени с использованием интерактивного способа проектирования.

## **Введение**

Проектирование волоконно-оптических линий связи (далее ВОЛС) в регионах — это процесс, лежащий в основе создания Интернета. При проектировании линия принимает структуру, благодаря расчету всех, ресурсов, точек связи, определяются некоторые недостатки и будут исправляться и исправляться до момента реализации.

Проект оказывает влияние на решение строительно-монтажных работ (далее СМР), управление ресурсами, контроль хода реализации, модернизацию или онлайн-работу связи.

Актуальность. Создаются рациональные решения и для управления ресурсами для сокращения времени и затрат на получения первоначальных данных по материалам для устройства ВОЛС IDEF0.

Проектирование сети осуществляется с учетом правил и требований, таких как:

- создание быстрой и эффективной передачи информации;
- обеспечение целостности оборудования и кабелей;

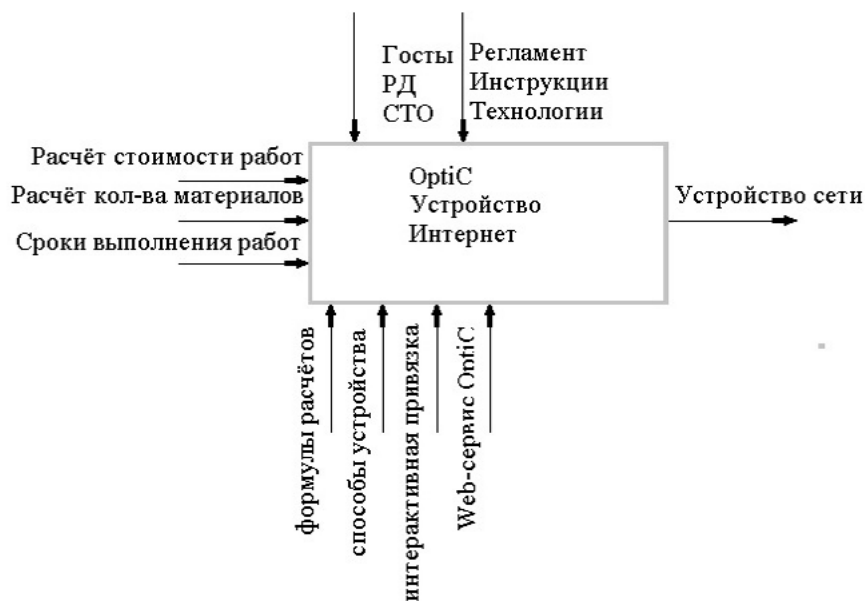


Рисунок 1. Функциональное моделирование IDEF0

- обеспечение безопасности данных; исполнение расположения и взаимодействие между оконечных устройств и терминалов сети;
- реализация восстановления сети в аварийных ситуациях и ее расширения.

Обычно план строительных работ создается на основе изучения проектно-сметной документации, изучения поезда и условий работы, размещения точек, сервиса, а также расположения и состояние дорог.

Группирование строительных длин проводится из соображений прокладки на одном регенерационном участке ВОК одной конструкции с одним типом ОВ и защитного покрытия, изготовленных одним заводом. Исключение — случаи соединения ВОК разных типов для подводных и воздушных переходов.

Правила добавления параметров передачи для построения длины оптоволокна (где делают добавление длины поверхности дороги и материалов,



учитывающих расположение опор связи и способ размещения их эффективных фиксаций.

По результатам определения высоты конструкции, которая прописана во всех районах расселения, является предварительной. После траса выйдете на главную дорогу и идите к парковке.

Построение плана прокладки оптоволоконного кабеля между точками А и Б — один из наглядных вариантов получения, данных при его проектировании.

Эта модель будет определять функции на основе карты. После интеграции интеграционной карты ментальные партии необходимо использовать и отправлять на задание.

На рисунок 2. Карта отображается в программе OpenStreetMap© и используется геоданные. Выбор системы интерактивных карт OpenStreetMap© широко используется во всем мире для построения различных планов проектирования. Он обеспечивает точность расчетов и учитывает большинство невидимых аспектов, которые не всегда видны при проекти-

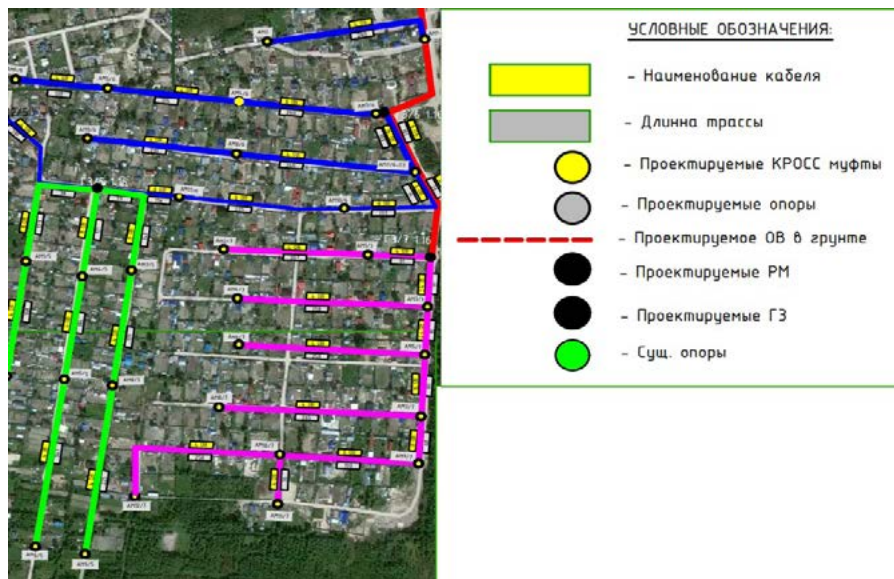


Рисунок 2. Карта линий связи частного сектора в городе. Урай

ровании других моделей с возможностью внесения изменений и использования в целях развития.

Очень важно чтобы программа OpenStreetMap© находилась в руках специалиста, это обеспечит надежность и эффективность при построении плана. На базе языка Java OpenStreetMap© (далее JOSM).

Квалифицированный специалист, использующий OPENSTREET-MAP(C) учтет все недочеты и грамотно сможет объяснить пути решения проблем при проектировании.

Стоит и учитывать удобный интерфейс программы и её простоту использования.

Переведя оцифрованную в программе карту, используем её в формате osm для чтения в редакторе и программе.

Добавляем на карте базы данных для ввода: терминалов связи (OLT), разветвления проводов (ОПК), приспособление, предназначенное для соединения электрических и оптических кабелей в кабельную линию (РМ), а также расходных материалов, распределительных узлов (ОРШ), маршруты. Они позволят описать особенности данного позволив определить перепады высот, водные ограничения и другие важные аспекты для проектирования и реализации данного проекта.

## **Общий алгоритм функционирования модели**

Алгоритм предусматривает выполнение нескольких последовательных действий, включая настройку модели, ввод исходных данных, выполнение расчетов количественных и стоимостных параметров сети, вывод результатов моделирования в графическом и табличном виде. Ниже даны пояснения по расчету некоторых основных параметров сети.

## **Результаты**

Анализ возможностей получения данных при разработке линии связи позволил определить основные проблемы, возникающие при исследовании трассы на этапе первоначального проектирования и управления процессами, связанными с устройством оптических линий связи.

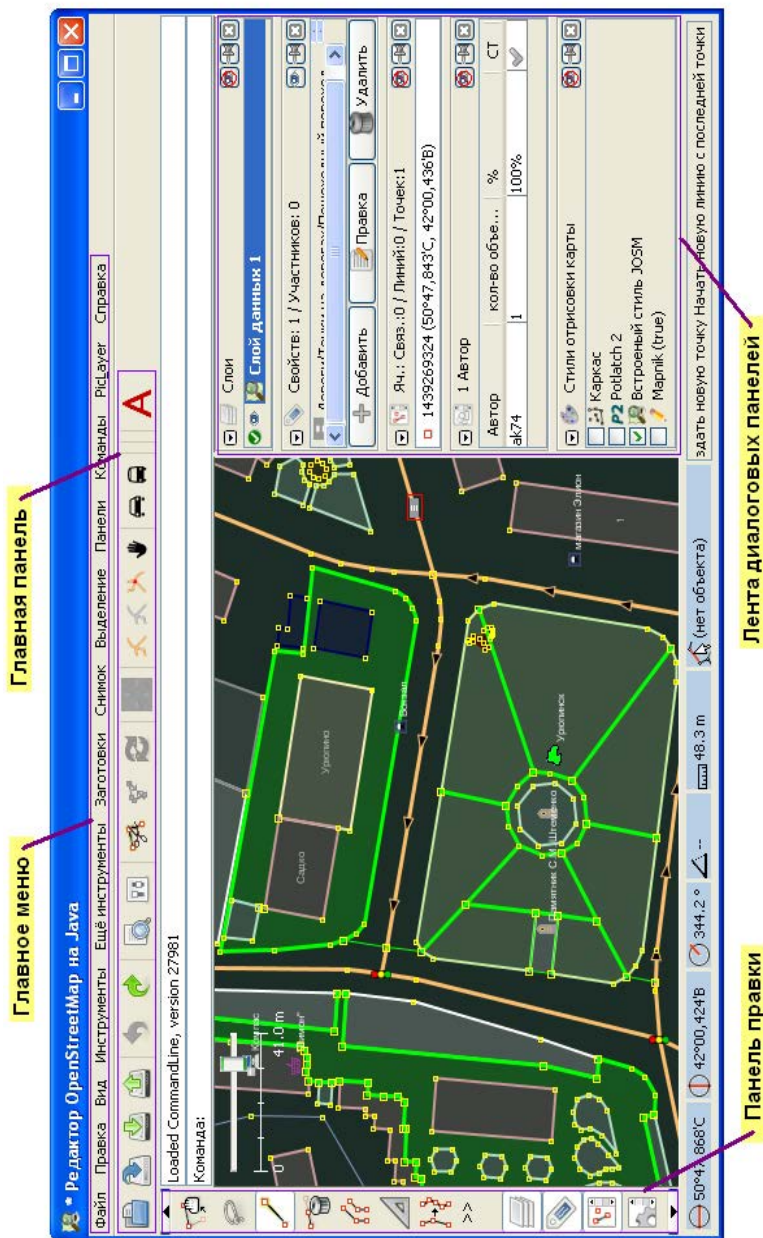


Рисунок 3. Создание объектов в программе OpenStreetMap



Рисунок 4. Процесс оптимального расстояния прокладки ВОЛС



Рисунок 5. Анализ данных

Рассмотренные нормативы, решающие задачи, не соответствуют всем критериям качества и не исключают всех проблем, поэтому целесообразно использовать метод, построенный на применении новых способов, а именно применение интерактивных карт OpenStreetMap©.

## Заключение

На основании анализа данных в программе OPENSTREETMAP(C), а также просмотра результатов карты исследуемого участка линии ВОЛС можно сделать вывод: линия прокладки кабеля является самой оптимальной и не имеет препятствий.

Также плюсом является присутствие коммуникаций возле автомобильной дороги, прокладка кабеля составит 48,3 км.

Экономит расход кабеля и коммутативного оборудования.

### Список литературы

1. Утекалко В.К., Бирзгал В.В., Вечер Н.А., Дарашкевич В. П. Геоинформационные системы военного назначения. Сборник тезисов докладов Республиканской научно-методической конференции. 24 апреля 2014 года, Минск.
2. Руководства по строительству линейных сооружений местных сетей связи Минсвязи РФ (АО «ССКТБ-ТОМАСС», М. 1996).
3. Преображенский А. П., Комков Д. В., Ломов И. С., Михалин С. С. Проблемы проектирования беспроводных систем связи // Наука и современность. 2010. № 4–1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-proektirovaniya-besprovodnyh-sistem-svyazi>.
4. OpenStreetMap [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.openstreetmap.org>.
5. Хабр [Электронный ресурс]. — URL: <https://habr.com>.
6. ResearchGate — Find and share research [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.researchgate.net>.

УДК 004

## Особенности реализации умного локомотива

**Бондякова Юлия Ильинична**

студент кафедры Экономики транспорта Уральского государственного  
университета путей и сообщения

**Панова Дарья Сергеевна**

студент кафедры Экономики транспорта Уральского государственного  
университета путей и сообщения

Научный руководитель **Рачек Светлана Витальевна**

доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой Экономики транспорта  
Уральского государственного университета путей сообщения

***Аннотация:** В статье предлагается общий разбор развития цифровизации железных дорог в России. В рамках статьи разобрано понятие интеллектуальной железной дороги, перечислены концепции развития «умных» железных, а также разобраны ключевые аспекты внедрения железнодорожных локомотивов.*

***Abstract:** The article offers a general review of the development of railroad digitalization in Russia. The article breaks down the concept of smart railroad, lists the concepts of smart railroad development, and breaks down the key aspects of railroad locomotive implementation.*

***Ключевые слова:** «умный» локомотив, интеллектуальная железная дорога, Internet of Things, IoT, человеко-машинный интерфейс.*

***Keywords:** “smart” locomotive, intelligent railway, Internet of Things, IoT, human-machine interface.*

Интеллектуальная железная дорога — это новый этап развития интеллектуальной информатизации транспорта, представляющий собой полную интеграцию и комплексное воплощение системы общественного обслуживания информатизации железных дорог. В 2010 г. руководство Министерства путей сообщения в связи с необходимостью изменения пути развития железных дорог предложило направление развития интеллектуальной железной дороги. Предполагается повысить общий потенциал железной дороги за счет интеллектуального развития железной дороги,

ускорить трансформацию способа развития железной дороги и реализовать устойчивое развитие железной дороги [1].

При строительстве «умных» железных дорог необходимо придерживаться концепции развития «инновация, координация, экологичность, открытость и совместное использование», следовать концепции развития, ориентированной на человека, выполнять требования «Тринадцатого пятилетнего плана развития железных дорог» и сосредоточиться на трех основных функциях — «умных» железнодорожных перевозках, эксплуатационных услугах и стимулировании промышленного развития, тесно связанных со строительством «умных» железных дорог, транспортных средств, станций, людей «одной магистрали». В то же время необходимо упорно работать над созданием информационной инфраструктуры нового поколения, повышать возможности интеллектуального развития железных дорог, совершенствовать систему железнодорожного сервиса для повышения качества обслуживания пассажиров и усиления мер безопасности. Кроме того, необходимо решить «пять основных задач»: улучшить возможности информационного управления и поддержки безопасности «умных» железных дорог, содействовать устойчивому развитию железных дорог, способствовать созданию высококлассных культурных брендов и усилить международное влияние.

Одной из составляющих умных железных дорог является умный локомотив. Решение АРМ «Умный локомотив» позволяет осуществлять автоматическую дешифровку и интерпретацию данных с локомотивов в том числе в режиме «online», мониторинг работы оборудования и отслеживание инцидентов в работе оборудования локомотивов. В основе проекта «Умный локомотив» лежит российская разработка IoT платформа Clover, разработанная компанией Ctrl2GO Solutions [2]. Внедрение умных локомотивов предполагает интеграцию передовых технологий и систем для повышения эффективности, безопасности и общей производительности локомотивов. Вот некоторые особенности или ключевые аспекты внедрения «умных» локомотивов:

## **Интеграция IoT**

Интеллектуальные локомотивы используют Интернет вещей (IoT) для подключения различных датчиков и устройств в поезде. Такое подклю-

чение позволяет в режиме реального времени контролировать состояние компонентов, производительность и условия окружающей среды.

## **Предиктивное техническое обслуживание**

Используя алгоритмы предиктивного обслуживания и машинного обучения, интеллектуальные локомотивы могут предсказывать потенциальные проблемы с такими компонентами, как двигатели, тормоза и другие критически важные системы. Это позволяет планировать техническое обслуживание до возникновения неисправности, сокращая время простоя и повышая надежность.

## **Аналитика данных для оптимизации производительности**

Внедрение средств анализа данных позволяет операторам анализировать огромные объемы данных, генерируемых локомотивом. Такой анализ позволяет оптимизировать производительность, топливную экономичность и общие эксплуатационные расходы.

## **Автоматизация и удаленный мониторинг**

Интеллектуальные локомотивы часто оснащаются функциями автоматизации, позволяющими осуществлять полуавтономное или автономное управление. Системы удаленного мониторинга и управления позволяют операторам управлять локомотивами из центрального пункта, что повышает эффективность и безопасность работы [5].

## **Системы связи**

Современные системы связи, включая высокоскоростные сети передачи данных, спутниковую связь и радиочастотную идентификацию (RFID), обеспечивают бесперебойную связь между локомотивами, центрами управления и другими подключенными устройствами на железнодорожной сети.



## **Управление энергопотреблением**

Интеллектуальные локомотивы ориентированы на эффективное управление энергопотреблением за счет таких функций, как рекуперативное торможение, оптимальное управление скоростью и интеллектуальное распределение энергии. Эти меры способствуют снижению расхода топлива и уменьшению воздействия на окружающую среду.

## **Системы безопасности**

Внедрение систем безопасности предполагает использование таких технологий, как системы предотвращения столкновений, автоматического экстренного торможения и обнаружения препятствий. Эти системы повышают безопасность движения поездов и снижают риск аварий.

## **Меры кибербезопасности**

С расширением возможностей подключения интеллектуальные локомотивы должны включать в себя надежные меры кибербезопасности для защиты от потенциальных киберугроз. К ним относятся защищенные протоколы связи, шифрование и системы обнаружения вторжений.

## **Человеко-машинный интерфейс (ЧМИ)**

Интеллектуальные локомотивы часто оснащаются средствами автоматизации, позволяющими осуществлять полуавтономную или автономную работу. Системы удаленного мониторинга и управления позволяют операторам управлять локомотивами из центрального пункта, что повышает эффективность и безопасность работы.

Разработка пользовательских интерфейсов и систем управления имеет решающее значение для «умных» локомотивов. Интуитивно понятные ЧМИ помогают машинистам взаимодействовать с передовыми технологиями, обеспечивая эффективное управление и контроль [5].

---

## Соответствие стандартам

Интеллектуальные локомотивы должны соответствовать отраслевым стандартам и стандартам безопасности. К ним относятся стандарты, касающиеся совместимости, кибербезопасности и коммуникационных протоколов, обеспечивающих беспрепятственную интеграцию с существующими железнодорожными системами.

Внедрение «умных» локомотивов — это значительный шаг на пути модернизации железнодорожной отрасли, повышения эффективности работы и обеспечения более безопасного и устойчивого будущего железнодорожного транспорта. Следует отметить, что внедрение «умных» локомотивов знаменует собой трансформационный скачок в развитии железнодорожной отрасли, обеспечивая конвергенцию передовых технологий. Интеграция технологий Интернета вещей (IoT) обеспечивает мониторинг компонентов и условий окружающей среды в режиме реального времени, а алгоритмы предиктивного обслуживания способствуют упреждающему обнаружению и планированию неисправностей, сокращая время простоя и повышая надежность.

Современные технологии РЖД позволяют свести к минимуму вероятность аварий в пути. Сегодня приближение поломки удастся выявить в среднем за месяц до того, как она реально случится.

Использование системы «Умный локомотив» позволяет автоматически определить нарушения эксплуатации, которые связаны с некорректными действиями сотрудников [4].

## Список литературы

1. Интеллектуальные транспортные системы iBase для железной дороги // Современные технологии автоматизации [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.cta.ru/articles/otrasli/zheleznodorozhnyy-transport/124330>.
2. Умный локомотив [Электронный ресурс]. — URL: <https://ctrl2go.com/projects/umnyy-lokomotiv>.
3. Что такое система «Умный локомотив»? [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.km.ru/science-tech/2023/04/17/904228-cto-takoe-sistema-umnyi-lokomotiv>.

4. Бабков Ю.В., Базилевский Ф.Ю., Грищенко А. В. Автоматизация локомотивов.— 2007.
5. Александрова Н.А., Брюхова О.Ю., Васильцова Л.И., Внуковский Н.И., Волкова Т.П., Доценко А.М., Каштанова Е.В., Клепалова Ю.И., Колышев А.С., Лобачёва А.С., Махт Н.Ф., Ниязова И.М., Павлова А.М., Пугачёва Н.В., Родайкина М.А., Рачек С.В., Савченков А.В., Токарев А.Г., Уварина Н.В., Чернова Н.В. и др. Управление персоналом в цифровой среде Екатеринбург.— 2021.

УДК 519.876.2

## **Требования к имитационным динамическим моделям бизнес-процессов на основе теории сетей Петри<sup>1</sup>**

**Петросов Давид Арегович**

кандидат технических наук, доцент Департамента анализа данных и машинного обучения Финансового университета при Правительстве Российской Федерации

***Аннотация:** В статье рассматриваются требования к имитационным динамическим моделям бизнес-процессов, построенным на основе математического аппарата теории сетей Петри. В качестве основных нотаций моделирования бизнес-процессов рассматриваются методологии семейства IDEF. Из которых выбраны IDEF0, IDEF3 и DFD, описывающие функциональные и технологические особенности бизнес-процессов, а также методология DFD, позволяющая моделировать потоки данных.*

***Abstract:** The article discusses the requirements for simulation dynamic models of business processes built on the basis of the mathematical apparatus of Petri net theory. Methodologies of IDEF family are considered as the main notations of business process modeling. The IDEF0, IDEF3 and DFD are chosen, describing functional and technological features of business processes, as well as the DFD methodology, which allows modeling data flows.*

***Ключевые слова:** сети Петри, имитационное моделирование, бизнес-процессы, методологии семейства IDEF.*

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 23–31–00127

**Keywords:** *Petri nets, simulation modeling, business processes, IDEF family methodologies.*

При создании динамических имитационных моделей бизнес-процессов с применением математического аппарата теории сетей Петри целесообразно определить методологии, которые будут использоваться при создании моделей предметной области. В рамках данного исследования предложено использование методологий моделирования семейства IDEF. Данная библиотека нотаций содержит достаточно количество классов нотаций, которые позволяют аналитику провести как построение, так и анализ предметной области. [1, 2]

При разработке требований целесообразно рассмотреть правила создания нотаций и синхронизировать их с выбранным математическим аппаратом.

Отметим, что в рамках выбранного семейства методологий существует возможность формирования вложенности из разных классов нотаций. Соответственно целесообразно использовать такие расширения сетей Петри, которые позволят аналитику реализовать данный подход.

Одним из расширений сетей Петри, которое позволяет выполнить данный функционал, являются иерархические и вложенные сети.

При их использовании существует возможность представления переходов, позиций, дуг и меток в виде отдельных моделей сети Петри (см. рис. 1).

В соответствии с требованиями нотации при создании моделей нотаций IDEF0 следует выполнять следующие требования:

1. Процесс всегда обладает входящими и выходящими потоками;
2. Для выполнения процесса требуется предоставить механизм и управление;
3. Количество декомпозиций моделей процесса не должно превышать четырех уровней;
4. Количество подпроцессов на одном уровне не может быть больше восьми и меньше двух.

При моделировании технологических особенностей бизнес-процессов целесообразно использовать методологию IDEF3, которая отличается от нотации IDEF0 наличием логических перекрестков и внешних источ-

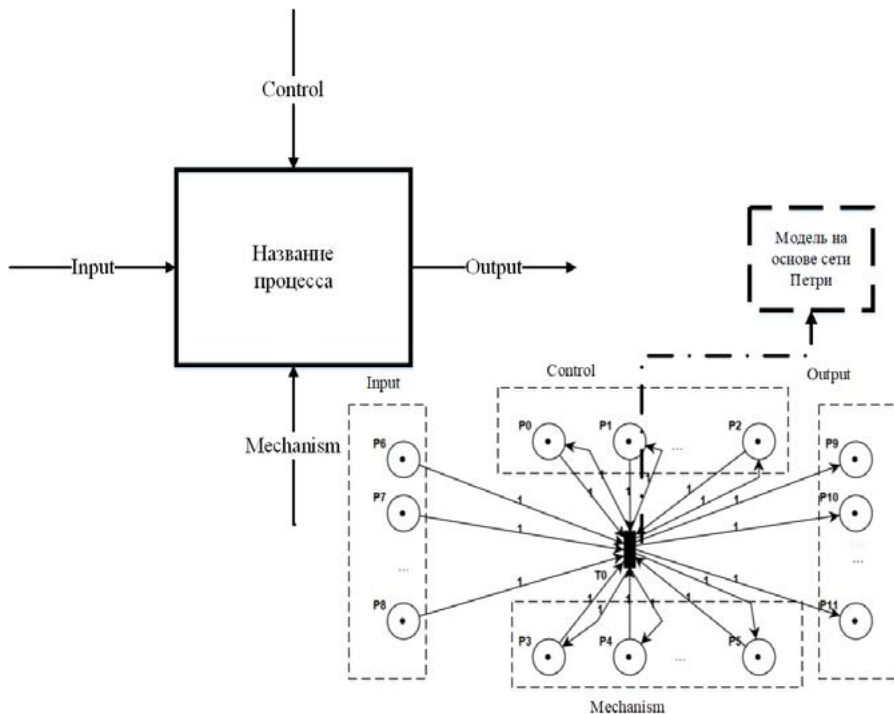


Рисунок 1. Пример построения контекстной диаграммы на основе нотации IDEF0 с использованием сети Петри

ников. Также отметим, что в данной методологии существуют различные виды стрелок, которые иллюстрируют не только переход от одной единицы работы к другой, а также могут отображать перемещение объектов в рамках разработанной модели. в этом случае целесообразно обратить внимание на следующие требования [3–4]:

1. модель может обладать логическими перекрестками, которые могут разветвлять или объединять результаты выполнения работ;
2. разветвления могут содержать: логическое «И», логическое «Или» и «Исключающее Или»;
3. разветвление могут быть как синхронными, так и асинхронными, что существенно влияет на запуск последующих единиц работ;

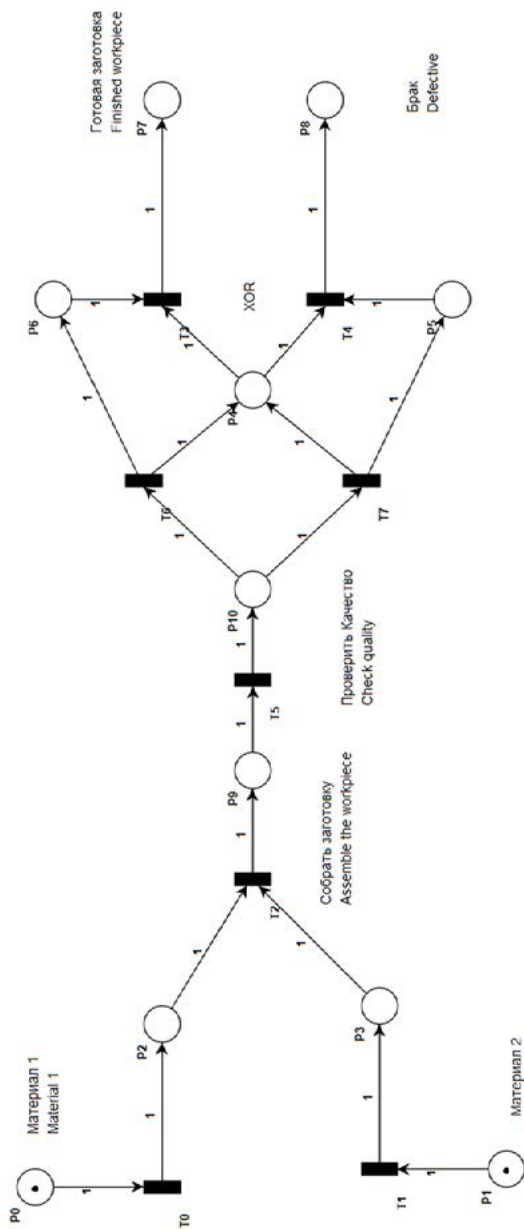


Рисунок 2. Пример моделирования методологии IDEF3 с использованием теории сетей Петри

4. в рамках модели могут быть указаны внешние источники как импортеры объектов, также могут являться экспортерами результатов работы во внешнюю среду;
5. внутри модели возможно перемещение объектов или переход от одного действия к другому, что зависит от применяемых стрелок.

Пример моделирования бизнес-процесса на основе методологии IDEF3 показан на рисунке 2.

Еще одна методология, которая требует рассмотрения — диаграмма потоков данных DFD. [5]

В рамках данной методологии также существует ряд правил, которых должен придерживаться аналитик при создании моделей предметной области:

1. потоки данных должны образовывать транзакции;
2. транзакции могут запускаться по времени;
3. транзакции могут запускаться внешней сущностью;
4. под транзакцией понимается переход от внешней сущности к процессу и далее к хранилищу данных.

Пример модели диаграммы потоков данных, с выполнением перечисленных требований показан на рисунке 3.

Таким образом в данной статье были рассмотрены основные требования, которые возникают при моделировании бизнес-процессов на основе семейства методологий IDEF. На приведенных примерах показаны возможности, которые предоставляет выбранный математический аппарат, для реализации динамических имитационных моделей.

Отметим, что в теории сетей Петри существует возможность использования как детерминированного, так и стохастического подходов при реализации имитационных моделей. А также существует возможность разделения типов объектов с использованием цветов, что существенно упрощает процесс моделирования сложных бизнес-процессов.

Кроме перечисленных преимуществ следует отметить наличие возможностей использования временных характеристик процессов и построения деревьев достижимых маркировок для анализа результатов выполнения процесса по итерационно или с течением времени.

В целом математический аппарат теории сетей Петри позволяет поддерживать все требования, которые используются в семействе методологий IDEF.

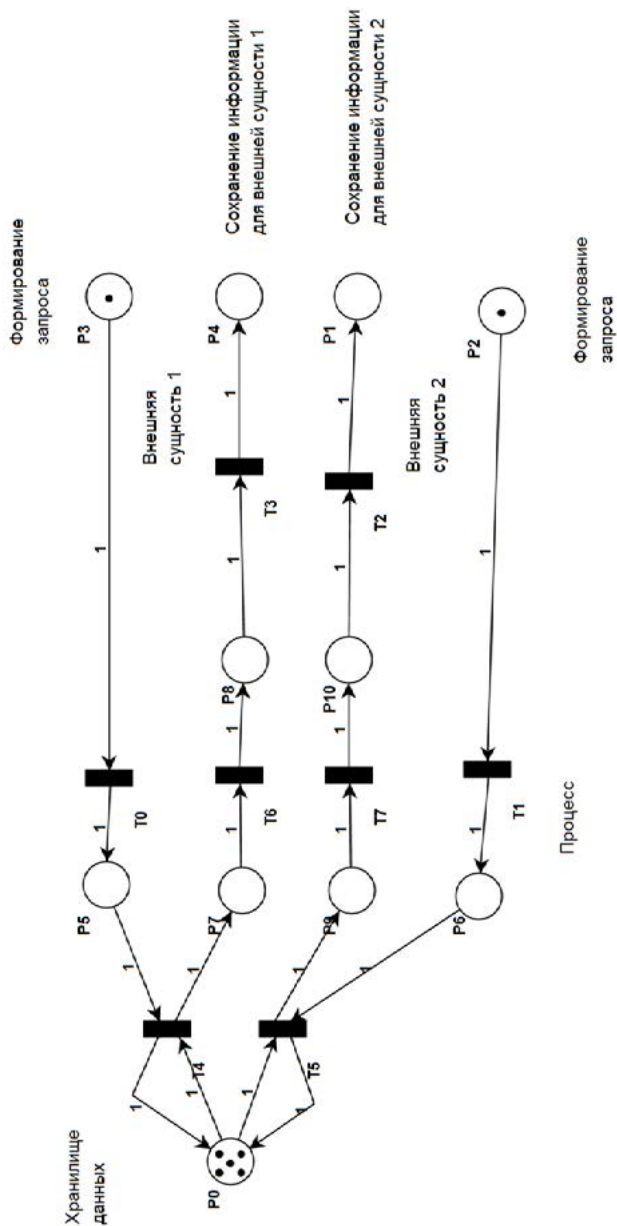


Рисунок 3. Пример моделирования методологии DFD с использованием теории сетей Петри



### Список литературы

1. Соловьева Е. И. Методы моделирования бизнес-процессов в организациях // В сборнике: Современные тенденции развития в области экономики и управления. Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 197–202
2. Салуквадзе И.Н., Радионов Д. Г. Моделирование бизнес-процессов предприятий: методологии, подходы и методы. Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. 2023;1(67):137–140
3. Холодков В.С., Бейбалаев А. М. Конвертер моделей IDEF0/IDEF3 в диаграммы деятельности языка UML: архитектура проекта в соответствии с паттерном проектирования MVVM // Вестник молодёжной науки России. 2019. № 1. С. 44.
4. Холодков В. С. Проектирование модуля получения и обработки XML-данных в составе конвертера моделей IDEF0/IDEF3 в диаграммы языка UML
5. Верёвкин Д. М. Применение CASE-технологий для анализа бизнес-процессов при проектировании информационных систем

---

# ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.791.92

## Оценка применимости использования технологии лазерной наплавки для синтеза пористых покрытий

**Ларин Максим Васильевич**

инженер Научно-исследовательской лаборатории  
«Лазерные и аддитивные технологии»

Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

**Кузнецов Михаил Валерьевич**

кандидат технических наук, заведующий Научно-исследовательской лаборатории  
«Лазерные и аддитивные технологии» Санкт-Петербургского политехнического  
университета Петра Великого

**Проценко Владимир Георгиевич**

инженер Научно-исследовательской лаборатории  
«Лазерные и аддитивные технологии»

Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

***Аннотация:** В статье представлен способ получения пористого покрытия из металлического порошка методом лазерной наплавки. Представлен механизм образования пор и влияние технологических параметров процесса лазерной наплавки на их размер. Проведен планируемый эксперимент для установления влияния значимости и характера влияния технологических параметров лазерной наплавки на размер пор.*

***Abstract:** The paper presents a method of obtaining a porous coating from metal powder by laser cladding. The mechanism of pore formation and the influence of technological parameters of the laser cladding process on their size are presented. A planned experiment is carried out to establish the influence of the significance and nature of the influence of laser cladding process parameters on pore size.*

***Ключевые слова:** пористое покрытие, имплант, лазерная наплавка, плазменное напыление, аддитивные технологии.*

*Keywords: porous coating, implant, laser cladding, plasma spraying, additive technologies.*

---

## **Введение**

В современном мире инженерия поверхностей и разработка новых материалов с пористыми структурами приобретают все большее значение в различных отраслях. Они широко используются в аэрокосмической промышленности, авиации, автомобильном производстве, энергетике и медицине. Эти покрытия обладают уникальными свойствами, такими как легкость, высокая прочность и способность обеспечивать эффективную тепло- и звукоизоляцию. В авиационной и аэрокосмической промышленности пористые покрытия используются для создания легких и прочных компонентов, что способствует снижению веса летательных аппаратов и, как следствие, экономии топливных ресурсов. В автомобильной индустрии они могут применяться для улучшения аэродинамических характеристик и защиты поверхностей от коррозии. В энергетической сфере пористые покрытия могут использоваться для оптимизации теплообмена и увеличения эффективности тепловых процессов.

Исходя из вышеперечисленных применений, исследования, направленные на совершенствование методов синтеза пористых покрытий, представляют значительное научное и практическое значение для широкого спектра индустрий и технологических сфер.

На сегодняшний день коммерчески доступной технологией для нанесения пористого покрытия является плазменное напыление (ПН) [1]. Покрытие, полученное таким способом, обладает низкой степенью сцепления с подложкой, кроме того контролирование размера пор является трудной задачей.

Методы 3D-печати применяются для синтеза пористых покрытий. Технология селективного лазерного плавления позволяет производить пористые изделия сложной формы по заданной модели автоматизированного проектирования (CAD) [2–4]. Таким способом можно с высокой точностью контролировать форму и размер пор. Недостатками данной технологии является ограничение размеров изготавливаемой детали, зависящей от объема бункера построения и невозможность нанесения покрытия на

заранее изготовленные заготовки. Высокая стоимость оборудования для данной технологии также является недостатком.

В данной работе рассмотрен метод лазерной наплавки (ЛН) для нанесения пористого покрытия. Благодаря образованию сварочной ванны на поверхности подложки с помощью ЛН можно получать прочные покрытия с металлической связью. За счёт прямого подвода материала, технология ЛН позволяет изготавливать крупногабаритные изделия а также наносить покрытия необходимой толщины и формы на заготовки [5,6].

Целью данного исследования является создание пористого покрытия на поверхности подложки с помощью технологии лазерной наплавки и изучение влияния параметров процесса, таких как мощность лазерного излучения, скорости перемещения и расхода порошка на качество формирования пористого покрытия.

### **Материалы и методы исследования**

Для нанесения пористого покрытия был собран макет оборудования для технологии ЛН. Макет состоит из робота Fanuc LR Mate 200iD, лазерного источника IPG YLR300, лазерной головки IPG FLW D30, сопла для подачи порошка Fraunhofer COAX8 и порошкового питателя Huirui. Общий вид макета представлен на рисунке 1. Для получения пористого покрытия использовалась запрограммированная траектория перемещения робота в форме сетки, продемонстрированная в работе [7]. Шаг сетки составлял 0.7 мм.

На подложку из сплава ВТ6 наносился порошок из жаропрочного сплава. Химический состав порошка определялся на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss Supra 55vp с приставкой для микроанализа Oxford и представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав порошка (%)

Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Nb	Mo
0,85	18,14	1,36	47,23	26,39	1,43	4,61

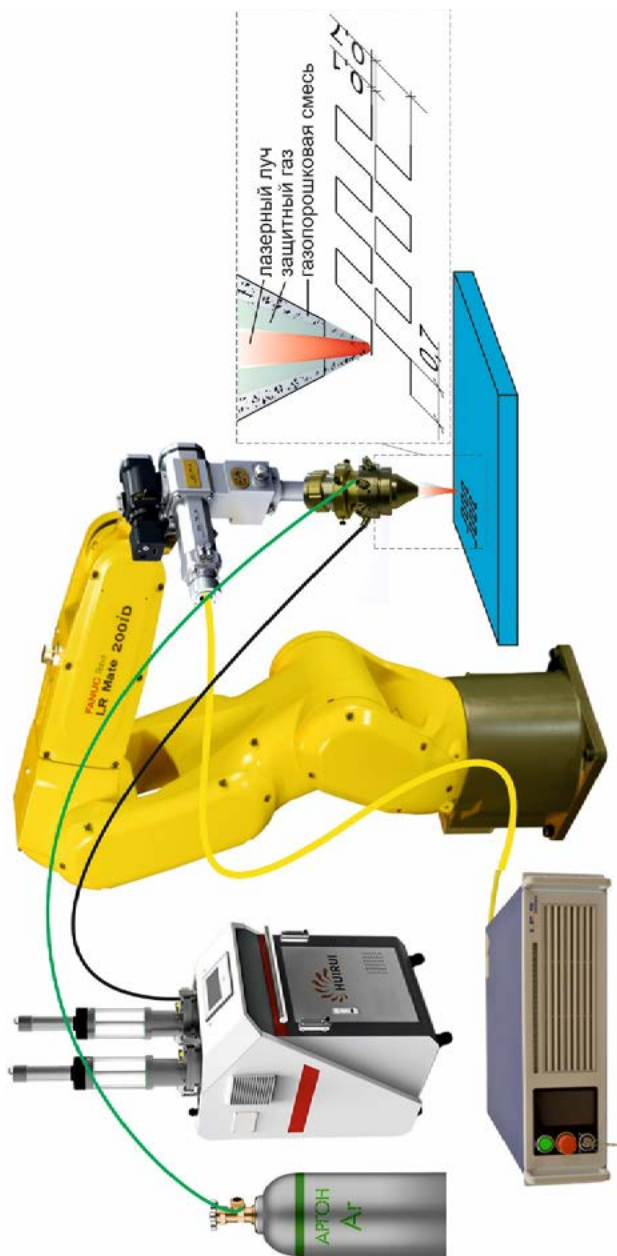


Рисунок 1. Общий вид макета

Гранулометрический состав порошков определялся на приборе измерения размера частиц методом лазерной дифракции — Analysette 22 Nano-Tec plus (Fritsch GmbH, Германия) и составил  $d_{10} = 49$  мкм,  $d_{50} = 92.7$  мкм,  $d_{90} = 163.8$  мкм. Частицы порошка имели сферическую форму. Фотографии наплавленных образцов анализировались на оптическом микроскопе оптического микроскопе Leica DMi8.

Для исследования влияния параметров ЛН на формирование пористого покрытия использовался планируемый двухуровневый 4-х факторный эксперимент (таблица 2). Мощность лазера варьировалась в диапазоне 40–70 Вт, скорость 8–16 мм/с, расход порошка 0.5–1% (4–8 г/мин). Фокус лазерного излучения находился на поверхности подложки. Расход подающего газа на питателе и защитный газ были постоянными и составляли 7 и 10 л/мин соответственно. Статистический анализ проводился в ПО OriginPro 2019b.

При программировании роботов Fanuc существует возможность задания степени точности отработки траектории в зависимости от скорости (параметр CNT). Принцип работы этого параметра показан на рисунке 2. При проведении экспериментов параметр CNT варьировался в диапазоне 0–100.

Для исследования влияния параметров газопорошковой наплавки на формирование пористого покрытия на подложку наплавлились прямоугольные области размером 25x15 мм, заполненные зигзагообразными линиями. Внешний вид наплавленных областей представлен на рисунке 3.

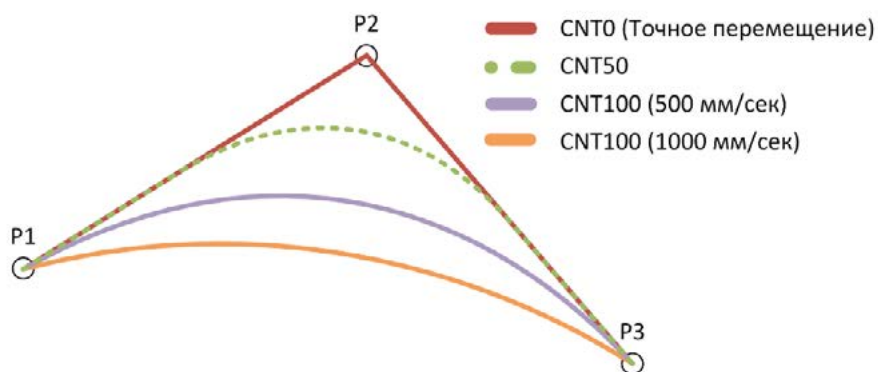


Рисунок 2. Принцип работы параметра CNT

Таблица 2. Технологические режимы для ЛН

№	Мощность лазера, Вт	Скорость перемещения, мм/с	CNT	Расход порошка, г/мин
1	40	8	0	0.5
2	70	8	100	0.5
3	40	16	100	0.5
4	70	16	0	0.5
5	40	8	100	1
6	70	8	0	1
7	40	16	0	1
8	70	16	100	1

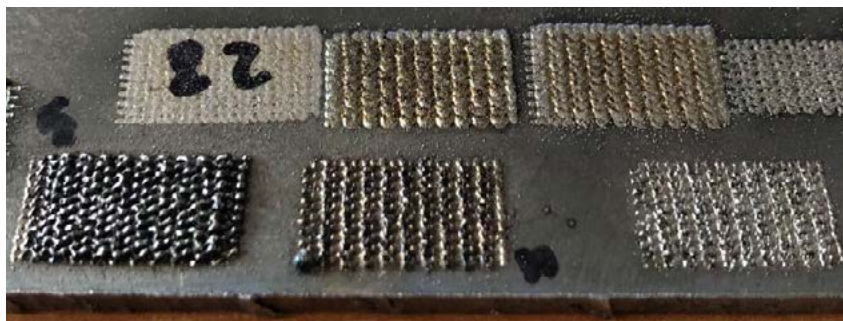


Рисунок 3. Внешний вид наплавленных покрытий

## Обсуждение результатов

Из-за закона инерции и криволинейной траектории с маленьким (0.7 мм) шагом металлический порошок (40–200 мкм) расплывался неравномерно, что привело к формированию валиков различной ширины (рисунок 4).

Снижение параметра CNT положительно влияло на структуру покрытия и формирования пор. Заданная траектория в форме прямоугольного импульса повторялась с высокой точностью, за счёт этого в углах траектории снижалась скорость, что приводило к образованию более широкого валика, который «срастался» с валиком из соседнего ряда. Это хорошо видно на рисунке 5а. Схематично этот механизм показан на рисунке 5б.

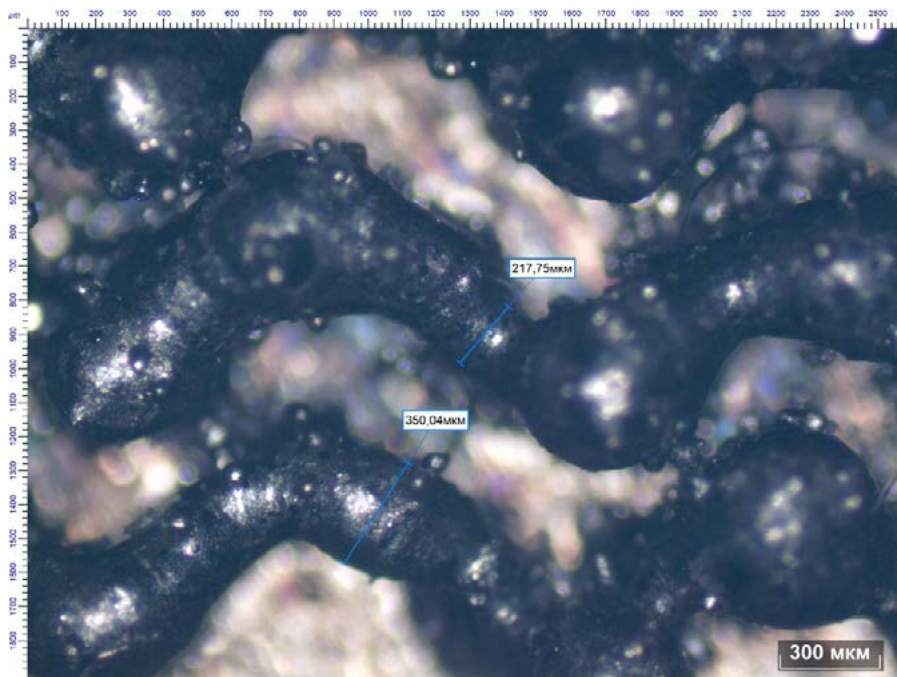


Рисунок 4. Фото полученного покрытия (режим № 1)

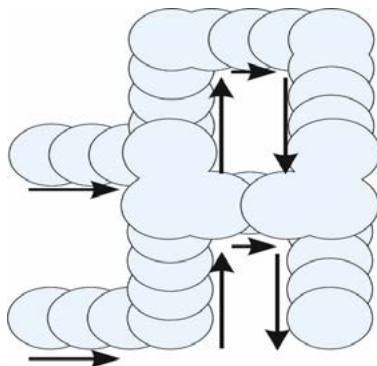
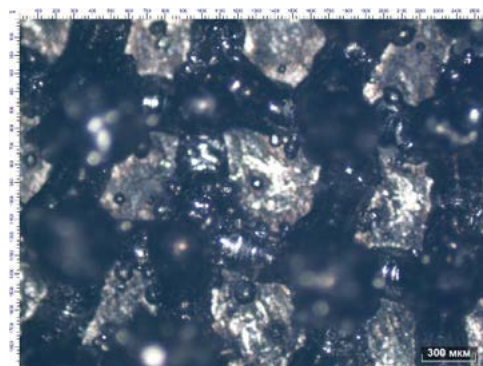


Рисунок 5. Наплавленное покрытие при  $CNT=0$ ,  
 а — изображение с микроскопа, б — механизм «срастания» валиков



При анализе планируемого эксперимента в качестве отклика был выбран средний размер пор. Результаты измерений представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты измерения размера пор

№ эксперимента	Среднее значение размера поры, мкм
1	422
2	0
3	240
4	412
5	340
6	0
7	594
8	345

При использовании режима № 2 и 6, за счёт высокой погонной энергии и низкой скорости подачи порошка, формируемые валики растекались, образуя сплошное покрытие без образования пор. (рисунок 6).

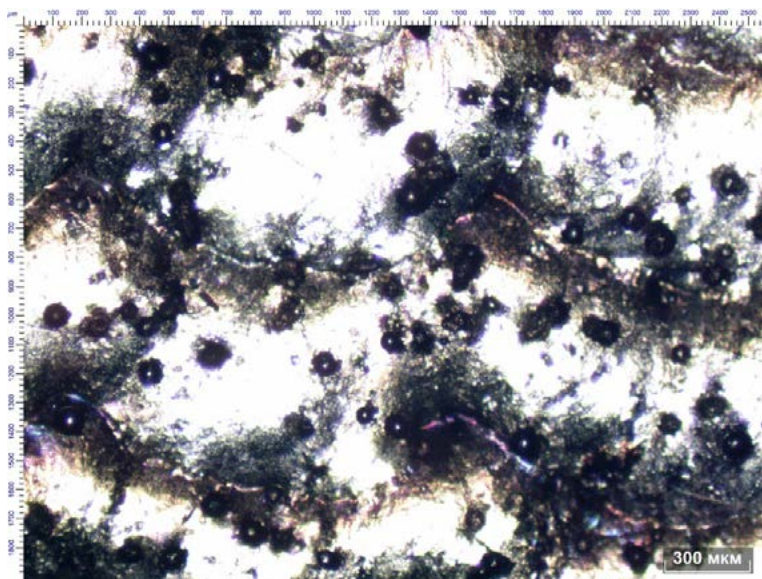


Рисунок 6. Отсутствие пор на режиме № 2

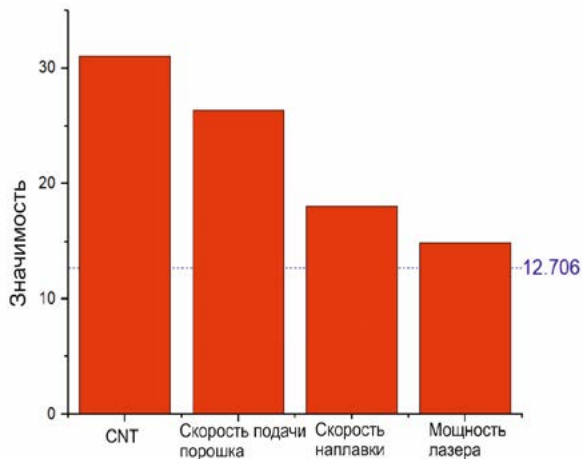


Рисунок 7. Значимость факторов на размер пор

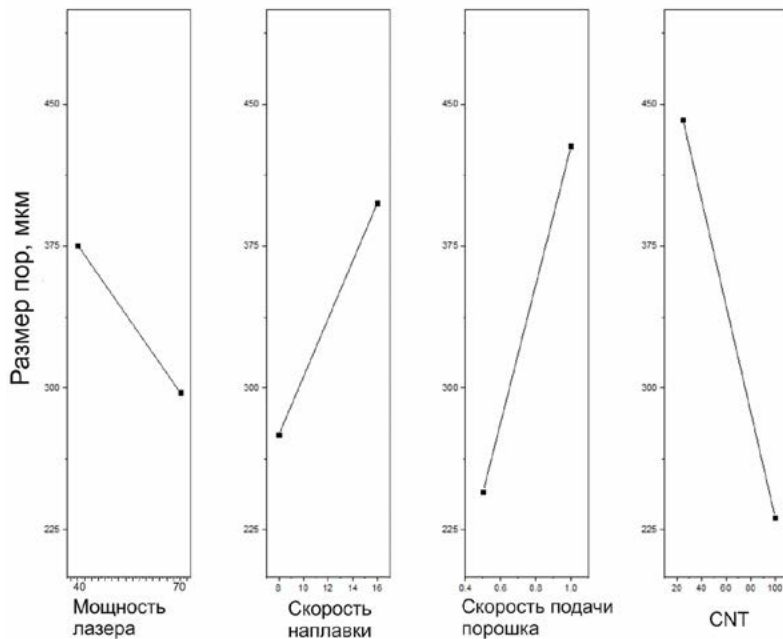


Рисунок 8. Характер влияния факторов на размер пор

С помощью регрессионного анализа была определена значимость каждого фактора на размер пор (рисунок 7) и характер влияния каждого фактора. (рисунок 8).

## **Заключение**

В работе представлен способ получения пористого покрытия из металлического порошка методом лазерной наплавки. Представлен механизм образования пор и влияние технологических параметров процесса лазерной наплавки на их размер. Выявлено, что наибольшую значимость на размер пор оказывает параметр точности исполнения траектории робота — CNT. Для дальнейшего изучения данной темы требуется проведение металлографических исследований и механических испытаний образцов.

## **Список литературы**

1. Odhiambo J.G. et al. Porosity and its significance in plasma-sprayed coatings // *Coatings*. MDPI, 2019. Vol. 9, № 7. P. 460.
2. Fousová M. et al. Promising characteristics of gradient porosity Ti-6Al-4V alloy prepared by SLM process // *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* Elsevier, 2017. Vol. 69. P. 368–376.
3. Matena J. et al. SLM produced porous titanium implant improvements for enhanced vascularization and osteoblast seeding // *Int. J. Mol. Sci.* Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2015. Vol. 16, № 4. P. 7478–7492.
4. Wang D. et al. Study on the designing rules and processability of porous structure based on selective laser melting (SLM) // *J. Mater. Process. Technol.* Elsevier, 2013. Vol. 213, № 10. P. 1734–1742.
5. Ahsan M.N. et al. Porous structures fabrication by continuous and pulsed laser metal deposition for biomedical applications; modelling and experimental investigation // *J. Mater. Process. Technol.* Elsevier, 2011. Vol. 211, № 4. P. 602–609.
6. Baino F. et al. Bioactive glass coatings fabricated by laser cladding on ceramic acetabular cups: A proof-of-concept study // *J. Mater. Sci.* Springer, 2017. Vol. 52. P. 9115–9128.

7. Shin T. et al. A laser-aided direct metal tooling technology for artificial joint surface coating // Int. J. Precis. Eng. Manuf. Springer, 2017. Vol. 18. P. 233–238.

УДК 69

## **Возведение модульных жилых сооружений на территории Хабаровского края**

**Сафонова Ксения Романовна**

студентка кафедры Архитектуры  
Государственного университета по землеустройству

Научный руководитель **Кошкин Андрей Корнилович**

старший преподаватель кафедры Строительства  
Государственного университета по землеустройству

***Аннотация:** Данная статья обсуждает перспективы и проблемы, связанные с возведением модульных жилых сооружений на территории Хабаровского края. Модульное строительство представляет собой современный подход, способствующий ускорению процесса возведения объектов, снижению затрат и повышению уровня безопасности в строительной отрасли.*

*В статье рассматриваются преимущества использования модульных систем, включая улучшение качества жилья и оптимизацию времени строительства, а также проблемы, такие как необходимость дополнительных исследований для обеспечения устойчивости и безопасности.*

***Abstract:** This article discusses the prospects and problems associated with the construction of modular residential structures in Khabarovsk Territory. Modular construction is a modern approach to accelerate the process of construction of facilities, reduce costs and improve safety in the construction industry.*

*The article discusses the benefits of using modular systems, including improved housing quality and optimized construction time, as well as challenges, such as the need for additional research to ensure sustainability and safety.*

***Ключевые слова:** модульное строительство, жилые помещения, Хабаровский край, строительные технологии, доступное жилье, эффективность строительства.*

*Keywords: modular construction, residential premises, Khabarovsk territory, construction technologies, affordable housing, construction efficiency.*

---

## **Введение**

Концепция модульного строительства получила широкое признание в мире благодаря своей эффективности, простоте и экономии времени в возведении зданий. В частности, на территории Хабаровского края возник интерес к использованию данной технологии в строительстве жилых объектов. Модульные жилые сооружения представляют собой не только современные и инновационные постройки, но и обеспечивают энергоэффективность, адаптируемость и устойчивость к различным климатическим условиям региона.

В данном исследовании рассматривается перспектива использования модульных технологий в жилищном строительстве на территории Хабаровского края, выявляя преимущества, вызовы и потенциал этого подхода для улучшения доступности жилья и совершенствования инфраструктуры строительного сектора.

## **Методы исследования**

Возведение модульных жилых сооружений на территории Хабаровского края требует обращения к международным стандартам и терминологии. Осуществленный анализ нормативно-технических документов зарубежных стран выявил важные определения и ключевые термины, которые предлагается применять в процессе развития модульного строительства в России [2, 7].

Хотя в нормативно-технической документации России уже присутствуют некоторые термины, такие как «Модуль», «Укрупненный модуль», «Кратный модуль» (согласно с ГОСТ Р 58760–2019), для устранения возможных противоречий и совершенствования национальных норм следует дополнительно исследовать терминологию [6, 12].

Предлагаемые варианты, вытекающие из анализа как зарубежной, так и отечественной документации, представлены на рисунке 1. Эти варианты

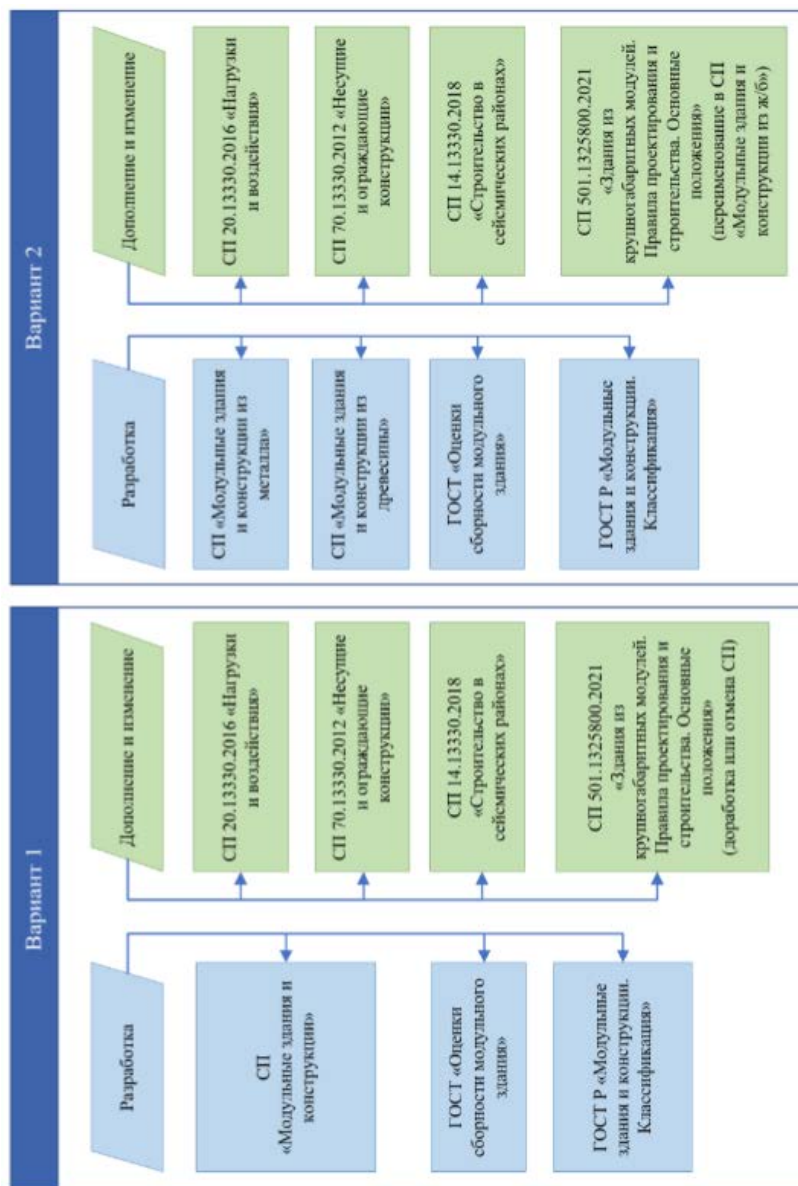


Рисунок 1. Варианты развития НТД в области модульных, быстровозводимых зданий и зданий заводской готовности в Хабаровском крае

предполагают расширение существующих разделов нормативных документов, чтобы охватить требования к модульным конструкциям, а также разработку новых документов для улучшения подходов к модульному строительству. Подобный подход уже используется в Германии, где созданы отдельные нормативные документы для различных типов материалов, что может стать образцом для строительной индустрии России (рис. 1) [4].

На рисунке представлены возможные способы дополнения трехэтажного здания с использованием модульных блоков. Это демонстрирует изменение внешнего вида устаревшего здания, придавая ему новый облик и функциональность [1, 5].

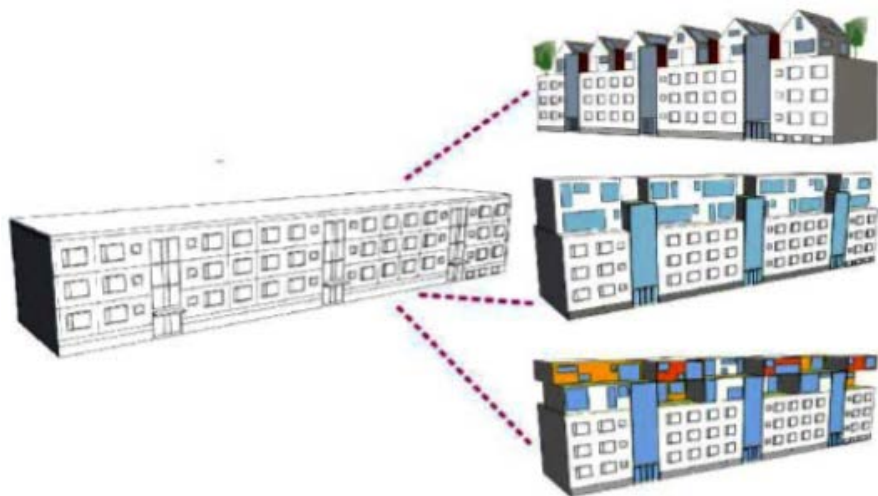


Рисунок 2. Варианты надстройки трехэтажного здания модульными блоками

Необходимо отметить, что использование модульных конструкций, особенно объемных блоков, рассматривается как один из перспективных методов обеспечения энергоэффективной реконструкции. Для улучшения организационно-технологических решений и повышения энергоэффективности дополнительных этажей предлагаются методы, такие как увеличение размеров модульных элементов при сокращении их массы, предполагая использование готовой отделки [3, 11].

Ожидается, что снижение издержек приведет к уменьшению стоимости жилья, что в свою очередь сделает его доступнее для населения, предполагая улучшение его качества [10, 14].

Легкие блок-модули могут быть использованы в различных форматах: для строительства, дополнительного строительства, встраивания и надстройки зданий при их реконструкции (рис. 3) [13].



Рисунок 3. Пример жилого модульного здания

Такой подход позволяет создавать инновационные объекты, включая такие разработки, как «растущие дома». Кроме того, блок-модули могут использоваться для построения небольших объектов, таких как киоски, павильоны, кафе, при этом предоставляя возможность производства разнообразных блоков на одном предприятии.

## Результаты исследования

Сейчас в Российской Федерации активно внедряются методы модульного строительства как полного цикла производства (начиная с изготовления до ввода объекта в эксплуатацию) и модульных переделов в производстве строительных материалов (табл. 1) [8].



Таблица 1. Реализуемые проекты модульного строительства в Хабаровском крае

Наименование проекта	Наименование организации	Описание проекта
Все типы домов, офисов, бытовок из модулей	ООО «А-Модуль»	Компания специализируется на производстве модульных зданий для различных отраслей, офисных и коммерческих объектов, жилых и туристических комплексов. Время строительства — от 2 дней, стоимость от 15 тыс. руб. за 1 м <sup>2</sup> (Хабаровский край).
Модульные здания с деревянным каркасом и система «растущего» дома	ООО «Основа»	Компания занимается строительством утепленных модульных домов на деревянных каркасах с пропиткой огне- и биозащитными средствами. Стоимость строительства — от 21 тыс. руб за 1 м <sup>2</sup> .
Модульные здания на стальном каркасе	ООО «Региональный Завод Модульных Конструкций»	Компания специализируется на строительстве модульных зданий, используя блок-контейнеры. Стоимость строительства — от 10 тыс. руб за 1 м <sup>2</sup> (г. Красноярск).

Для тщательного анализа модульного строительства необходимо собрать и проанализировать статистические данные о существующих производствах и завершенных проектах.

Однако, из-за того, что подобные предприятия только начинают свой путь на рынке строительной индустрии, получение статистической информации становится сложной задачей. Для понимания масштабов развития модульного строительства в стране в целом и в Хабаровском крае в частности, можно обратиться к сайту госзакупок РФ, конкретно к разделу «Тендеры: блочно-модульные здания» (табл. 2) [8].

Судя по данным таблицы 2, можно отметить, что сооружение блочно-модульных жилых сооружений на территории Хабаровского края имеет тенденцию к постепенному росту. Производство модульных систем по РФ и объем тендеров на строительство блочно-модульных зданий как на уровне всей Российской Федерации, так и в Хабаровском крае, демонстрируют значительное увеличение с 2019 по 2022 год. В частности, в Хабаровском крае рост объема тендеров был более выраженным, достигнув

Таблица 2. Приложения на строительство объектов по технологии блочно-модульных жилых сооружений

Показатели	Единицы измерения	Период				Отклонения		
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Абс. +/-	Темп роста	Темп прироста
Производство Модульных систем по РФ	тыс. м <sup>2</sup>	65	77	98	170	82	193,18	93,18
Тендеры блочно-модульных зданий по РФ	млрд руб.	1,29	1,55	1,97	3,4	1,64	193,18	93,18
Тендеры блочно-модульных зданий по Хабаровскому краю	млрд руб.	0,36	0,12	0,29	0,2	0,077	162,60	62,60

162,6% к 2022 году, что указывает на увеличение интереса к этой технологии строительства в данном регионе.

Средняя стоимость без использования модулей в Хабаровском крае составляет 40 тысяч рублей на квадратный метр.

Хотя стоимость модульного блока на квадратный метр ниже, строительные компании в этом регионе предпочитают традиционные методы строительства из-за ограниченного выбора модульных систем и неохоты менять свой подход и стратегию управления. Согласно данным производителей, за период с 2020 по 2022 год минимальная стоимость стандартного модульного блока в Хабаровском крае колебалась от 15 до 22 тысяч рублей за квадратный метр в зависимости от его предназначения и конструкции (табл. 3) [8].

Таблица 3. Минимальная стоимость изготовления стандартного модульного блока за м<sup>2</sup>

Район	Стоимость, руб.
Хабаровский край	15000
Красноярский край	17000
Омская область	20000
Алтайский край	21000

Исходя из данных таблицы о минимальной стоимости изготовления стандартного модульного блока за квадратный метр в различных регионах:

1. Наиболее низкая стоимость изготовления зарегистрирована в Хабаровском крае, составляя 15 000 рублей за квадратный метр.
2. Красноярский край следует за Хабаровским краем, с минимальной стоимостью изготовления 17 000 рублей за квадратный метр.

Рассмотрим существующие объекты капитального строительства, построенные с использованием модульных технологий в Хабаровском крае, используя завод-изготовитель ООО ГК «СибМодуль» в качестве примера. Этот завод разрабатывает здания в трех вариантах исполнения: блочно-модульные здания, каркасно-панельные и здания из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК). Материал, используемый для строительства, определяется целью объекта, начиная от LVL-бруса (рис. 4) и заканчивая сэндвич-панелями (рис. 5) [13, 14].

Возведение модульных жилых сооружений на территории Хабаровского края обладает значительными преимуществами, среди которых следует выделить:



Рисунок 4. Модульное жилое здание, г. Хабаровск



Рисунок 5. Здание из сэндвич-панелей в г. Хабаровск

1. Ускорение процесса возведения объектов благодаря изготовлению модульных блоков на заводе изготовителя с готовыми проектными решениями по техническому каталогу.
2. Снижение затрат на проектную документацию благодаря простоте монтажа с готовыми шаблонами проектирования от изготовителя.
3. Повышение безопасности объектов благодаря тщательным испытаниям модульных блоков перед их установкой на строительную площадку [9].

Согласно стратегическим целям развития промышленности строительных материалов в России к 2035 году, планируется достижение целевого

показателя — увеличение доли индустриального домостроения до 60% от общего объема строительства объектов капитального строительства.

## **Выводы**

В заключение, возведение модульных жилых сооружений на территории Хабаровского края представляет собой перспективное и важное направление в современной строительной индустрии. Применение модульных технологий открывает новые возможности для ускорения процесса строительства, снижения затрат, повышения безопасности объектов, а также эффективного использования ресурсов.

Эти системы предоставляют широкий набор преимуществ, включая улучшение качества жилья, сокращение времени возведения зданий и оптимизацию затрат. Несмотря на преимущества, выявлены определенные вызовы и проблемы, требующие дополнительных исследований и разработок для обеспечения устойчивости и эффективности на всех этапах проекта.

Однако, благодаря активной работе по модернизации нормативной базы и стратегическому планированию в области строительства, внедрение модульных систем обещает стать ключевым фактором в развитии жилищного строительства, обеспечивая доступность и качество жилья для населения.

## **Список литературы**

1. Пухова, В. В. Рыночная и социальная доступность жилой недвижимости как инструменты оценки удовлетворенности жилищной потребности населения / В. В. Пухова, В. Д. Тисленко, К. В. Чепелева / *Фундаментальные исследования*. — 2018. — № 7. — С. 152–157.
2. Сауков Д.А., Гинзберг Л.А Современное модульное строительство // Надежность и ресурс больших систем и машин: сб. ст. VIII Всерос. Науч.-техн. конф. с междунар. участием и XVIII школы молодых ученых, IV Междунар. конф. / Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина; Науч.-инж. центр УрО РАН. — Екатеринбург: Изд-во НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН; Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, 2018. — С. 69–82.

3. Сергеева Д. С. Строительство модульных зданий как решение быстрого возведения индивидуальных частных домов // Studarctic forum, 2021.— № 21. — С. 89–94.
4. Фомин Е.П., Алексеев А. А. Глобальная перспектива 2025 инновационного предпринимательства в строительной индустрии // Вестник Самарского государственного экономического университета.— 2019.— № 7. — с. 27–34.
5. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. Динамика индивидуального жилищного строительства в России и государственные меры, направленные на развитие сектора— 2019. [Электронный ресурс]: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/25024.pdf> (Дата обращения: 30.11.2023).
6. ГОСТ 22853–86 с ГОСТ Р 58760–2019 [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/901705977> (Дата обращения: 30.11.2023).
7. Дементьев Н.М., Волкодав В.А., Волкодав И.А., Титова И. Д. Перспективы развития и нормирования модульного строительства в России с учетом зарубежного опыта // ИВД. 2023. № 4 (100). [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-i-normirovaniya-modulnogo-stroitelstva-v-rossii-s-uchetom-zarubezhnogo-opyta> (Дата обращения: 30.11.2023).
8. Росстат. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/>, свободный.— (Дата обращения: 30.11.2023).
9. Alderton M. How Building Modular Homes Can Help Fill the Affordable-Housing Gap. Autodesk, 2018, [Электронный ресурс]: [https://www.autodesk.com/redshift/affordable-modular-homes?utm\\_medium=website&utm\\_source=archdaily.com](https://www.autodesk.com/redshift/affordable-modular-homes?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com) (Дата обращения: 30.11.2023).
10. How modular construction is changing commercial real estate // Jones Lang LaSalle (JLL).— 2019.— [Электронный ресурс]: <https://www.us.jll.com/en/trends-and-insights/cities/how-modular-construction-is-changing-commercial-real-estate> (Дата обращения: 30.11.2023).
11. Katharine Logan Continuing Education: Modular Construction // Magazine Architectural Record.— 2019.— [Электронный ресурс]: <https://www.architecturalrecord.com/articles/14229-continuing-education-modular-construction/> (Дата обращения: 30.11.2023)

12. Modular construction: From projects to products. McKinsey & Company, 2019, [Электронный ресурс]: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products> (Дата обращения: 30.11.2023).
13. Proizvodstvenno-stroitel'nyu kompleks ООО «LSTK-Sibir» (Production and construction complex LLC «LSTK-Siberia») [Электронный ресурс]: <http://lstk-sibir.ru/tag/%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F/> (Дата обращения: 30.11.2023).
14. Woollard D. 2020 Trend: The Continued Growth of Modular Construction // Millionacres.— 2020. [Электронный ресурс]: <https://www.fool.com/millionacres/real-estate-market/articles/2020-trendcontinued-growth-modular-construction/> (Дата обращения: 30.11.2023).

УДК 621

## **Оценка возможности увеличения эффективности парогенераторов энергетических установок, работающих на ядерном топливе**

**Аленин Анатолий Романович**

студент кафедры Промышленной теплоэнергетики филиала  
Национального исследовательского университета МЭИ в г. Смоленск

Научный руководитель **Любова Татьяна Степановна**

кандидат физико-математических наук, доцент филиала Национального  
исследовательского университет МЭИ в г. Смоленск

***Аннотация:** Технологический процесс производства электроэнергии на АЭС основан на использовании паротурбинных установок. Рабочий пар может быть получен в специальном теплообменном аппарате — парогенераторе за счет тепла, поступившего с первичным теплоносителем из реактора. В статье рассмотрены парогенераторы АЭС, их назначение, принцип действия, различные типы. Проанализированы преимущества и недостатки различных типов парогенераторов и произведена оценка более эффективного.*

***Abstract:** The technological process of power generation at NPPs is based on the use of steam turbine units. Working steam can be obtained in a special heat-exchange apparatus — steam*

*generator due to the heat supplied with the primary coolant from the reactor. The article considers NPP steam generators, their purpose, principle of operation, different types. Advantages and disadvantages of different types of steam generators are analyzed and more effective one is estimated.*

**Ключевые слова:** атомная электростанция, парогенератор (ПГ), реактор, энергетическая установка, водо-водяной энергетический реактор.

**Keywords:** nuclear power plant, steam generator (PG), reactor, power plant, water- water power reactor.

---

## **Введение**

Энергетика, построенная на углеводородах, себя исчерпала. Наиболее перспективным направлением, обеспечивающим энергобезопасность государства, является развитие атомной электроэнергетики. Тому есть несколько причин. Первая — атомная энергетика доказала свою безупречность в области экологии по сравнению с другими доминирующими источниками энергии. Вторая — атомная энергетика, используя новые технологии, может придать новое качество предоставлению услуг обществу: дешевизна, достаточный ресурс и безопасность. Третья, и самая главная, это огромный, по сравнению с органическим топливом энергетический эквивалент цепной реакции деления. Несколько граммов делящегося изотопа урана-235 примерно равны 1 т нефти.

## **Раздел 1. Обзор парогенерирующей установки**

Парогенератор АЭС производит пар для питания турбинной установки и систем собственных нужд атомной электростанции. Это важнейший элемент АЭС, от которого зависит не только выработка энергии, но и безопасность станции. В парогенераторе нагретая вода первого контура передает тепло кипящей воде, образовавшийся насыщенный пар отводится в паровой коллектор. Сепарация влаги

осуществляется также внутри него. Парогенератор нужен для отделения радиоактивного теплоносителя первого контура от нерадиоактивных пара и воды второго контура. С одной стороны, это делает всю паросило-



вую часть нерадиоактивной, с другой — снижает КПД, усложняет устройство и эксплуатацию энергоблока АЭС.

К парогенераторам атомных электростанций предъявляются высокие требования по надежности, непрерывности работы и обеспечению заданных параметров пара. Парогенератор не может быть отключен по первому контуру. Как максимум, допустимо снижение тепловой нагрузки путем остановки соответствующего главного циркуляционного насоса. Парогенератор радиоактивен, закрыт теплоизоляцией, помещен в бокс. Боксы расположены внутри герметичного ограждения. Свободный доступ к работающим парогенераторам невозможен. Доступ открывается во время остановки реакторной установки для перегрузки топлива раз в год на 25 дней.

Парогенератор АЭС представляет собой единичный теплообменный аппарат или их совокупность. В парогенераторах осуществляется производство рабочего пара с использованием тепла, отводимого из активной зоны реактора охлаждающей средой, направляемой в поверхности нагрева парогенератора. Этот агрегат наряду с ядерным реактором и паровой турбиной относится к основному оборудованию паротурбинной АЭС.

## **Раздел 2. Классификация и различные типы парогенераторов**

В настоящее время еще нет достаточных данных для однозначного выбора конкретных конструкций как парогенераторов в целом, так и отдельных его элементов. Это относится и к парогенераторам, обогреваемым водой под давлением, несмотря на длительный опыт их изготовления и эксплуатации. Если для относительно умеренных единичных мощностей созданы надежные экономичные парогенераторы, которые можно считать уже стандартными для АЭС с реакторами ВВЭР-440 и ВВЭР-1000, работающими на насыщенном паре, то для более высоких мощностей такой ясности еще нет. Что же касается АЭС с другими теплоносителями, то для них имеет место практически индивидуальное проектирование каждого агрегата, в том числе и парогенераторы.

При проектировании парогенератора в качестве исходных принимаются следующие данные: параметры и вид теплоносителя, параметры пара

и питательной воды, принцип движения теплоносителя во всех элементах парогенераторов и рабочего тела в пароперегревателе и экономайзере, взаимное направление движения теплоносителей. Все остальные факторы, необходимые для создания парогенератора, должны выбираться на основе технико-экономического анализа.

Парогенераторы применяются в двух- и трехконтурных схемах АЭС как промежуточные теплообменники. Классифицировать их можно по следующим признакам:

По типу станции: для АЭС с ВВЭР; для АЭС с реакторами БН; для АЭС с газовым теплоносителем;

Парогенераторы для АЭС с ВВЭР подразделяются на: вертикальные; горизонтальные;

Вертикальные парогенераторы: с U-образной поверхностью нагрева; с ширмовой поверхностью нагрева; со спиральной поверхностью нагрева;

Парогенераторы для АЭС с БН: с естественной циркуляцией; прямоточные секционные однокорпусные;

Окончательный вывод по разбору и сравнению разных типов парогенераторов можно свести в итоговую таблицу 1. преимуществ и недостатков парогенераторов.

Таблица 1. Преимущества и недостатки парогенераторов разного типа

Горизонтальный ПГ (ВВЭР-1000)	Вертикальный ПГ («+» означает, что ПГ обладает преимуществом по данной хар-ке, «-» не обладает)		
	U-образный	Ширмовый	Спиральный
Преимущества			
1. Освоенность производства, положительный опыт эксплуатации	+	-	-
2. Компоновка труб вдоль корпуса ПГ (высокая тепловая мощность на ед.объема)	+	-	-
3. Одноступенчатая схема сепарации, не требующая применения слож.сепараторов	-	-	-

Горизонтальный ПГ (ВВЭР-1000)	Вертикальный ПГ («+» означает, что ПГ обладает преимуществом по данной хар-ке, «-» не обладает)		
	У-образный	Ширмовый	Спиральный
4. Отсутствуют толстостенные трубные доски и разделительная перегородка	–	+	+
5. Отсутствие скопления шлама в местах заделки теплообменных труб	–	+	+
6. Теплообменная поверхность может быть изготовлена из аустенитных нержавеющей сталей, а не дорогих спл. на никел. основе	–	+	+
7. Умеренные скорости теплоносителя в теплообменных трубах, умеренные затраты на перекачку теплоносителя	–	+	+
8. Удобство обслуживания. Возможность замены внутрикорпусных устройств	–	–	–
Недостатки			
1. Ограниченность тепловой мощности по диаметру корпуса, транспортировке	–	–	–
2. Затрудненность компоновки с вертикальным реактором в здании	+	+	+
3. Меньший запас воды при номинальной работе при меньшей кратности циркуляции	+	+	+
4. Отсутствие ступенчатого испарения, по сравнению с вертикал. конструкциями	+	+	+

## Заключение

Проведя обзор парогенераторов АЭС и ознакомившись с реакторами в совокупности с которыми, они работают. Представлены технические характеристики, основные принципы работы парогенераторов. Выявлены особенности, достоинства и недостатки.

К ПГ АЭС предъявляется много требований по экономичности работы, надежности и безопасности эксплуатации, малые начальные затраты на

строительство и эксплуатационное обслуживание, а также важным критерием являются габариты играющие важную роль в пригодности к транспортировке парогенератора. При этом главным показателем остается экономичность.

Исходя из различных критериев, представленных в этой статье были выявлены 2 основных типа ПГ: горизонтальные и вертикальные. Вертикальные в свою очередь подразделяются так же на U-образные, ширмовые и спиральные. Проведя сравнения, результаты которых были сведены в таблицу 1, вариант с вертикальным ширмовым ПГ показывает себя наиболее предпочтительным. Он обладает такими преимуществами перед горизонтальным ПГ как:

- Отсутствуют толстостенные трубные доски и разделительная перегородка (применяются вертикальные коллектора);
- Отсутствие скопления шлама в местах заделки теплообменных труб;
- Теплообменная поверхность может быть изготовлена из аустенитных нержавеющей сталей, а не дорогих сплавов на никелевой основе;
- Умеренные скорости теплоносителя в теплообменных трубах, умеренные затраты на перекачку теплоносителя;
- Меньшая металлоёмкость, как следствие удешевление производства;
- Учитывая достоинства и недостатки различных типов реакторов и парогенераторов, реактор типа ВВЭР обладает рядом достоинств, таких как:
- Природная доступность замедлителя и теплоносителя (воды);
- Большая безопасность из-за двухконтурности по сравнению с РБМК и ВВР. Отрицательный паровой коэффициент реактивности;
- Отработанность технологии ВВЭР. Современный уровень техники позволяет гарантировать безопасную работу реактора в течение минимум 60–80 лет, с последующим продлением срока эксплуатации;
- Малый размер по отношению к другим типам реакторов;
- Меньшее количество персонала по сравнению с РБМК.

ВВЭР является одним из самых перспективных типов реактора. В настоящее время доля строящихся АЭС в мире с реакторами водо-водяного типа составляет более 95%. Все эти достоинства ВВЭР в совокупности с вертикальными ширмовыми ПГ может позволить увеличить эффективность всей энергетической установки за счет уменьшения общих затрат и увеличения единичной мощности.

### Список литературы

1. Ташлыков О.Л., Бельтюков А.И. «ПАРОГЕНЕРАТОРЫ АЭС». Екатеринбург Издательство Уральского университета 2019.— 304 с.
2. Сорокин В. В. Парогенераторы АЭС. Минск: Вышэйшая школа, 2020.— 239 с.
3. Рассохин Н. Г. Парогенераторные установки атомных электростанций. 3-е изд. — М.: Энергоатомиздат, 1987.— 384 с.
4. ВВЭР-1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность / А. М. Афров, С. А. Андрущечко, В. Ф. Украинцев и др. — М.: Университетская книга, Логос, 2006.
5. Тепловые и атомные электрические станции (справочник), т. 3 / Под ред. А. В. Клименко. М.: Энергоатомиздат, 2003.
6. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта. А. А. Андриюшенко А. М. Афров, Б. Ю. Васильев. “Логос”. 2010.

УДК 621.793 (075.8)

## **Метод упрочнения поверхности прокатно-прессового инструмента с применением хром-кадмиевого электролита**

**Кривый Юрий Владимирович**

генеральный директор ООО “ПРЕССМАШ”

**Величко Александр Григорьевич**

руководитель направления

*Аннотация: Исследование относится к области упрочнения поверхности прокатно-прессового инструмента с помощью нанесения износостойких гальванических покрытий, в частности к области применения хром-кадмиевого электролита. Результатом исследования является повышение износостойкости хромового покрытия с улучшением физико-механических свойств, в частности, беспористость, пластичность, высокая твердость и минимальные напряжения, а также минимальное снижение пре-*

дела усталости хромированной стали, что способствует повышению потребительских свойств инструмента, также повышает производительность при производстве бесшовных труб. Практическим результатом является применение хром-кадмиевого электролита вместо стандартного при хромировании металлических изделий с целью получения износостойкого покрытия.

**Abstract:** *The research relates to the field of surface hardening of a rolling-press tool by means of applying wear-resistant galvanic coatings, in particular to the chromium-cadmium electrolyte field of application. The result of the research is the increase of wear resistance of chrome coating with improvement of physical and mechanical properties, in particular, porosity-free, plasticity, high hardness and minimal stresses, as well as minimal reduction of fatigue limit of chrome steel, which contributes to the improvement of consumer properties of the tool, also increases productivity in the production of seamless pipes. A practical result is the use of chromium-cadmium electrolyte instead of standard electrolyte in chromium plating of metal products in order to obtain a wear-resistant coating.*

**Ключевые слова:** *гальваническое покрытие, твердость, упрочнение, прокатно-прессовый инструмент.*

**Keywords:** *electroplating, hardness, hardening, rolling and pressing tools.*

---

## Введение

В настоящее время в промышленности хромирование деталей производят в электролите при постоянной плотности тока по ГОСТ 9.305–84 «Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Операции технологических процессов получения покрытий». Режим хромирования предусматривает получение блестящего хромового покрытия, характеризующегося высокой твердостью [1, 2].

Изучение состояния деталей [3, 4] после эксплуатации показало, что применяемое хромовое покрытие недостаточно стойко при механических и термических воздействиях во время работы изделия. На это указывает характер износа покрытия, отличающийся тем, что его разрушение происходит в основном путем растрескивания и выкрашивания отдельных частиц хрома, а не путем полного истирания покрытия. При эксплуатации блестящее хромовое покрытие легко растрескивается, и на ограниченных трещинами участках происходит выкрашивание под воздействием высоких механических усилий от трения и от термоциклического воздействия. Далее

происходит износ (появление сетки разгара, комет, трещин) тела оправки, выполненного из кованной заготовки инструментальной штамповой стали.

Производители Cogne Acciai Speciali [5], Deutsche Edelstahlwerke (DEW) [6] для нанесения износостойкого хромового покрытия применяют стандартные электролиты, состав которых не подразумевает применение кадмия (Cd). Применение стандартных электролитов не позволяет добиться показателей, достигнутых при применении хром-кадмиевого электролита.

Команда ученых кафедры «Обработка металлов давлением» Национального исследовательского технологического университета МИСиС разработала новую технологию, позволяющую упростить процесс горячей прокатки бесшовных труб из легированной и высоколегированной стали [7]. Отличительная особенность технологии — последовательное использование двух «оправок» — инструментов превращающих малопослушную стальную заготовку в полуу «гильзу».

В связи с недостатками технологий [5–7] в данной статье предложен метод хромирования с улучшенными физико-механическими свойствами, который минимально снижает предел усталости хромированной стали.

В настоящее время в промышленности хромирование деталей типа оправка производят в электролите при постоянной плотности тока. Режим хромирования предусматривает получение блестящего хромового покрытия, характеризующегося высокой твердостью.

Изучение состояния деталей после эксплуатации показало, что применяемое хромовое покрытие недостаточно стойко при механических и термических воздействиях во время работы изделия. На это указывает характер износа покрытия, отличающийся тем, что его разрушение происходит, в основном, путем растрескивания и выкрашивания отдельных частиц хрома, а не путем полного истирания покрытия.

## **Экспериментальная часть**

### *Основные характеристики хром-кадмиевого электролита*

Для проведения экспериментальных работ был выбран хром-кадмиевый электролит состава, приведенного в таблице 1.

Таблица 1. Состав электролита

Наименование вещества	Концентрация, г\л
Хромовый ангидрид	180–200
Серная кислота	0,8–1,1
Натрий кремнефтористый	4,5–5,5
Натрий двуххромовокислый	25–30
Кадмий метал.	15–17

Хром-кадмиевый электролит приведенного состава обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с универсальным электролитом хромирования. Экспериментальными работами было установлено, что процесс осаждения хрома в этом электролите характеризуется высоким катодным выходом металла по току 22–24% (Рис. 1, кривая 2) против 13–15% (Рис. 1, кривая 1) в стандартном электролите на оптимальных режимах.

Для хром-кадмиевого электролита характерен также более широкий интервал катодной плотности тока, обеспечивающий получение блестящих хромовых покрытий (Рис. 2).

Были изучены пластичность и внутренние напряжения хромовых покрытий, полученных из хром-кадмиевого электролита по сравнению с хромовыми покрытиями из универсального электролита.

Пластичность хромового покрытия определялась на образцах-крешерах, изготовленных из стали 50РА (Ø10 мм, h=15 мм) и оценивалась по характеру разрушения покрытия после сжатия под прессом на 1/3 высоты.

На рис. 3 представлен внешний вид образцов с хромовым покрытием после испытания их на пластичность. Во всех случаях хромирования прочность сцепления хромового покрытия с основным металлом выше прочности самого хромового покрытия. По характеру разрушения хромового покрытия при его деформации можно судить о его пластичности. Из представленных данных видно, что хромовые покрытия из хром-кадмиевого электролита более пластичные, чем из стандартного электролита.

Внутренние напряжения определялись методом гибкого катода. Пользуясь этим методом, можно проследить динамику изменения внутренних напряжении в процессе осаждения хромового покрытия.



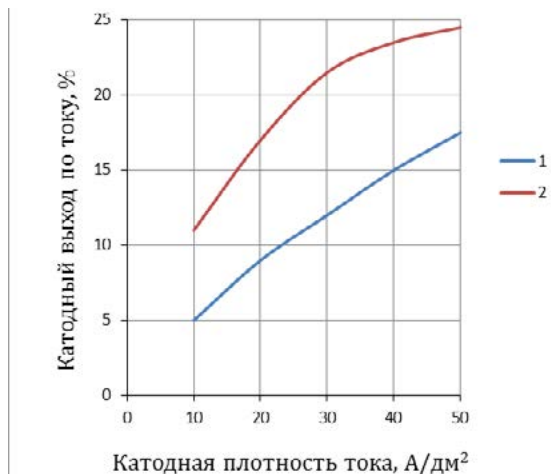


Рисунок 1. Катодная плотность тока, А/дм<sup>2</sup>, где 1 — стандартный электролит, 2 — хром-кадмиевый электролит

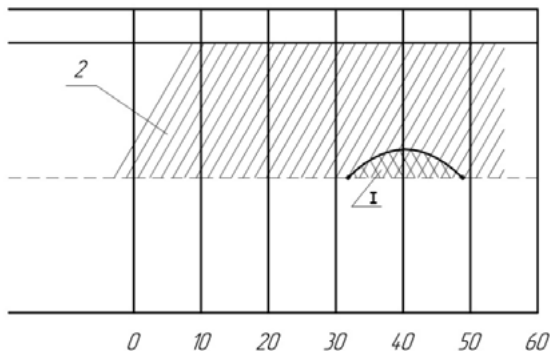
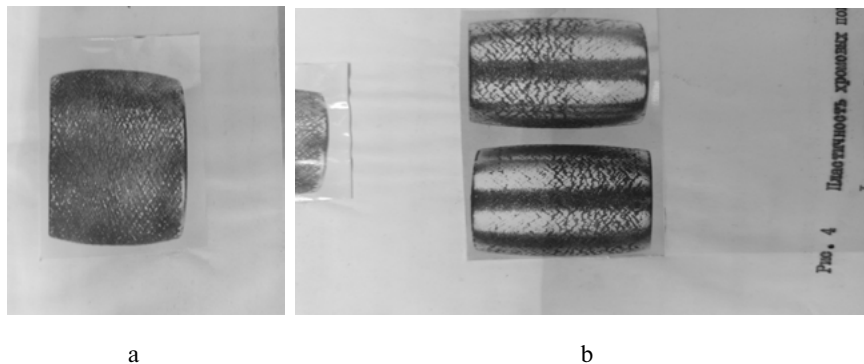


Рисунок 2. Зона блестящих хромовых покрытий в стандартном (1) и хром-кадмиевом (2) электролитах

Катоды размером 20x100x0,3 мм, изготовленные из пружинной стали марки У-8, термообрабатывались при температуре 260–290 °С в течение 2 часов.

Указательная стрелка из проволоки Ø0,3 мм припаивалась к верхнему концу вертикально расположенного катода. Длина стрелки вместе с высту-



**Рисунок 3. Пластичность хромовых покрытий:  
а) стандартный электролит, б) хром-кадмиевый электролит**

пающим над электролитом частью катода составляла 100 мм. Поверхность, которую не нужно покрывать хромом изолировалась. Нижний конец катода жестко закреплялся в прямоугольной ячейке, изготовленной из оргстекла. Ячейка открыта сверху и со стороны анода, другие ее стороны закрыты боковыми стенками, ограничивающими рабочий объем электролита. Зазор между катодом и сосудом составлял около 0,1 мм, что позволяло пластинке свободно изгибаться, не касаясь стенок сосуда. Жестко закрепленный конец катода соединен с отрицательным полюсом источника тока питания. Анод расположен параллельно катоду вне ячейки, вблизи от ее открытой стороны. Схематическое изображение установки приведено на рис. 4.

Шкала прибора крепится над рабочей ванной и используется для отсчета стрелы прогиба катода. Расчет шкалы прибора основывается на том, что под влиянием внутренних напряжений сжатия катод изгибается по дуге окружности. Стрелка всегда направлена по касательной дуге окружности, форму которой принял катод (рис. 5).

Координаты конца стрелки можно выразить формулой:

$$X = R(1 - \cos\beta) + p\sin\beta;$$

$$Y = R\sin\beta + p\cos\beta$$

или

$$X = \frac{1}{\beta}(1 - \cos\beta) + p\sin\beta;$$

$$Y = \frac{l}{\beta} \sin\beta + r \cos\beta,$$

где  $r$  — длина стрелки,  $l$  — длина катода,  $R$  — радиус окружности, по дуге которой изогнут катод.

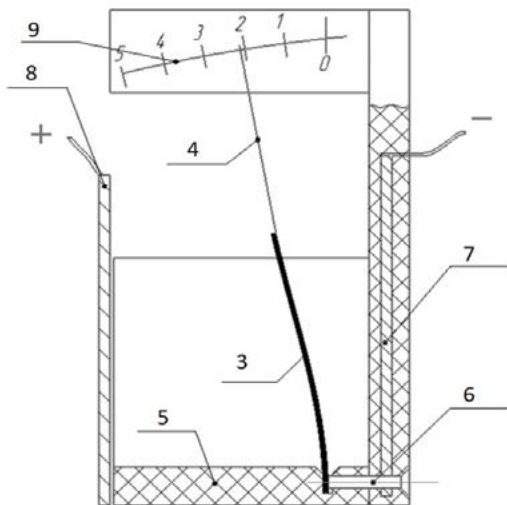


Рисунок 4. Схематическое изображение прибора для определения внутренних напряжений, где 3 — гибкий катод, 4 — указательная стрелка, 5 — планка с пазами, 6 — контактный винт, 7 — проводник катода, 8 — анод, 9 — шкала прибора

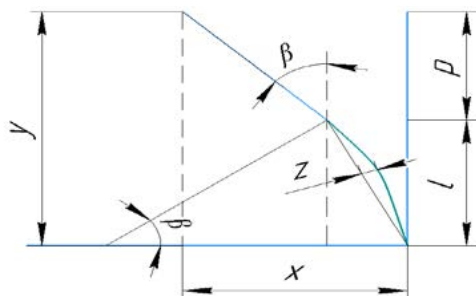


Рисунок 5. Схематическое изображение стрелы прогиба при определении внутренних напряжений

По этим уравнениям вычисляются значения координат свободного конца стрелки  $X$  и  $Y$  для различных значений угла  $\beta$ . Стрелка прогиба  $Z'$  может быть выражена как функция угла:

$$Z' = \frac{1}{\beta} \left(1 - \cos \frac{\beta}{2}\right).$$

При составлении таблицы значений координат свободного конца указательной стрелки, одновременно вычисляются значения стрелы прогиба, соответствующие данной величине угла. Вначале строится кривая «стрелка прогиба — время хромирования», затем по весу осажденного хрома подсчитывается толщина хромового покрытия и время, за которое осаждается слой хрома толщиной 1 мкм. После получения этих данных строится кривая «стрелка прогиба — толщина слоя хром» для каждого варианта покрытия.

На рис. 6 представлены результаты экспериментальных работ по определению внутренних напряжений хромовых покрытий из хром-кадмиевого и универсального электролита, полученных на различных режимах.

Как видно из хода кривых, рис. 6, внутренние напряжения хромовых покрытий, независимо из какого электролита они получены в начальной стадии электролиза возрастают.

Однако с дальнейшим ростом толщины покрытий на характер изменения внутренних напряжений хромового покрытия влияет природа электролита хромирования и режимы хромирования.

Внутренние напряжения, возникающие в блестящих хромовых покрытиях, полученные в стандартном электролите, имеют явно выраженную тенденцию к возрастанию с толщиной покрытия (кривая 1), максимальное значение стрелы прогиба при продолжительности электролиза 30 мин. (толщина покрытия 14 мкм) составляют уже 8,2 мм.

Молочные хромовые покрытия из этого же электролита (кривые 2 и 3) обладают меньшими внутренними напряжениями, чем блестящие покрытия, максимальное значение стрелы прогиба в этом случае составляет 3,5–3,6 мм при одной и той же толщине покрытия.

Минимальными внутренними напряжениями обладают хромовые покрытия из хром-кадмиевого электролита, осажденные при плотности тока

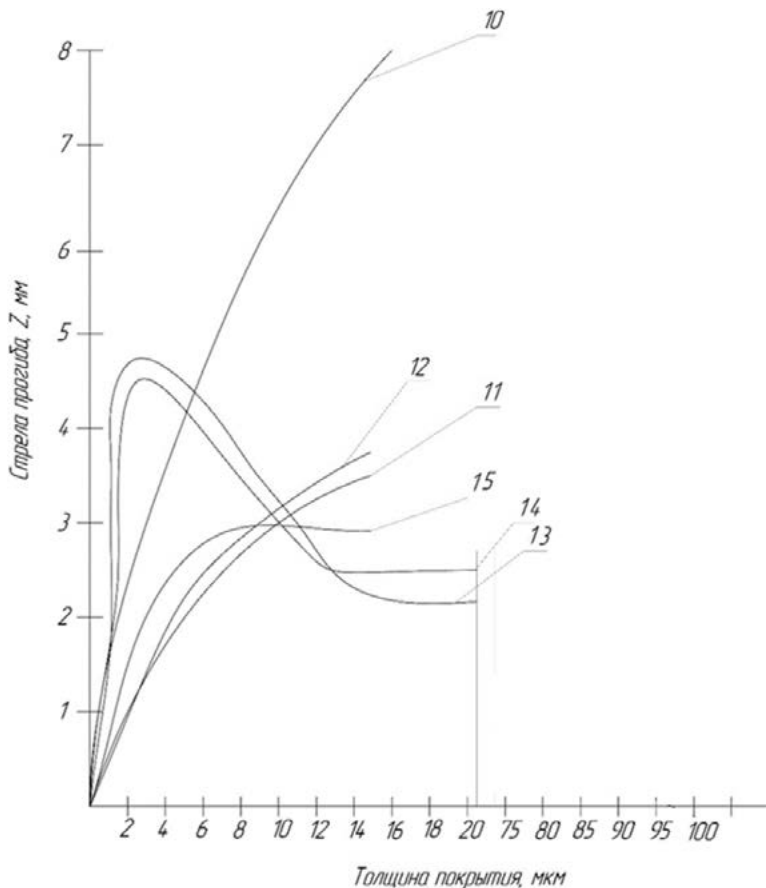


Рисунок 6. Влияние состава электролита и режима хромирования на внутренние напряжения хромовых покрытий, где 10 — стандартный электролит, Дк=45–60 А/дм<sup>2</sup>, температура 54–56 °С

50 А/дм<sup>2</sup> и температуре 58–60 °С (кривая 5), т.е. на режиме для получения твердых износостойких хромовых покрытий.

Внутренние напряжения в этом электролите повышаются с увеличением толщины покрытия до 4 мкм, а затем плавно снижаются и при толщине хрома 10–16 мкм становятся меньше, чем в случаях хромирования из стандартного электролита. При толщине хрома 95–100 мкм внутренние

напряжения в электролите проходят через ноль, меняют знак, переходя из растяжения в напряжение сжатия. По всей видимости, это связано с содержанием в покрытии кадмия.

Следует также отметить, что блестящие хромовые покрытия из хром-кадмиевого электролита обладают меньшими внутренними напряжениями, чем даже молочные покрытия из стандартного электролита (кривые 4, 5, 2 и 3).

Внутренние напряжения молочных хромовых покрытий из хром-кадмиевого электролита (кривая 6) возрастают с толщиной покрытия в меньшей степени, чем блестящие покрытия, а затем, начиная с толщины покрытия 6 мкм, значения внутренних напряжений стабилизируются.

Таким образом, проведенными экспериментальными исследованиями установлено, что хром-кадмиевый электролит обеспечивает получение хромовых покрытий, обладающих большей пластичностью и меньшими внутренними напряжениями, чем покрытия из стандартного электролита.

### **Разработка оптимальной программы изменения тока в хром-кадмиевом электролите**

Для определения оптимальной плотности анодного тока, обеспечивающей хорошую адгезию хромового покрытия к основному металлу, проверялись следующие значения  $J_a=50, 30, 10 \text{ А/дм}^2$ , при этом катодная плотность тока принималась постоянной и равной  $50 \text{ А/дм}^2$ , а время анодного декапирования 45 сек. Время процесса хромирования было выбрано 70 мин, что соответствует толщине хромового покрытия порядка 50 мкм. После хромирования образцы подвергались термообработке в вакуумной печи при температуре  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 2 часов, а затем испытывались на адгезию и пластичность. Опыт показал, что все значения анодной плотности тока обеспечивают хорошую адгезию хромового покрытия к основному металлу (отслаивания хромового покрытия не наблюдалось). Поэтому для дальнейших работ выбрана анодная плотность тока равная  $25\text{--}30 \text{ А/дм}^2$ .

Исследования проводились с реверсированием тока, при медленном подъеме тока в каждом цикле 7 мин. (рис. 7). Для всех исследуемых режимов хромирования была определена микротвердость хромового покрытия.

Микротвердость хромового покрытия не превышала 700–900 НV, что является недостаточным для создания твердого износостойкого покрытия.

Поэтому проведена серия опытов, в которой величина предельной плотности тока при хромировании была повышена с 70 А/дм<sup>2</sup> до 90 А/дм<sup>2</sup> и на выбранном режиме реверсирования тока изготовлены образцы для испытаний на пластичность и определения микротвердости.

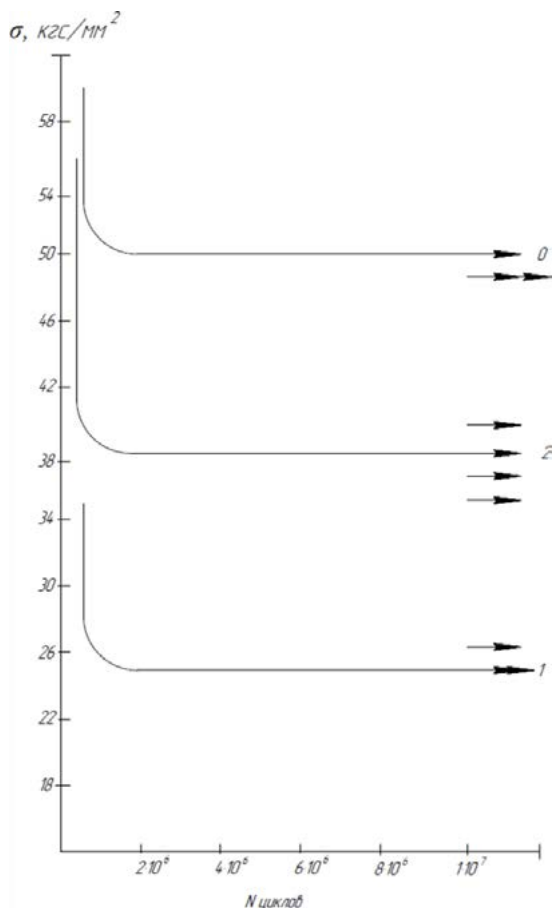


Рисунок 7. Влияние состава электролита и режимов хромирования на усталостную прочность стали 38ХМЮА, где 0 — без покрытия; 1 — стандартный электролит; 2 — хром-кадмиевый электролит

Таким образом в результате проведенной экспериментальной работы установлена следующая оптимальная программа изменения тока при нанесении хромового покрытия:

- время анодного декапирования — 30 сек.,  $Da=50$  а/дм<sup>2</sup>;
- 1 цикл — 5 мин.,
- время обратного тока между циклами — 5 сек.,
- время подъема тока в остальных циклах — 7 мин.,
- пределы изменения плотности тока при введении процесса в стационарных условиях — 50–90 а/дм<sup>2</sup>, температура — 65°С.

### **Усталостная прочность стали**

На выбранном оптимальном режиме хромирования в хром-кадмиевом электролите было определено влияние хромирования на предел усталости стали по сравнению с нехромированной сталью и хромированной в стандартном электролите на молочном режиме.

Результаты испытания по определению влияния состава электролита и режимов хромирования на усталостную прочность приведены на рис. 7.

Из этих данных видно, что при хромировании в хром-кадмиевом электролите на блестящих режимах наблюдается меньшее снижение предела усталости, чем у молочного хромового покрытия из стандартного электролита.

Если для молочного хромового покрытия из стандартного электролита снижение предела усталости в результате хромирования составляет 50%, то для покрытий из хром-кадмиевого электролита оно составляет 20%.

Эти результаты согласуются с величинами внутренних напряжений: покрытия, обладающие минимальными внутренними напряжениями, вызывают меньшее снижение предела усталости стали.

### **Испытания хромовых покрытий на износ**

На основании выбранной оптимально программы реверсирования тока была покрыта партия роликов для испытания хромового покрытия на износ.



Износостойкость хромовых покрытий, осажденных из стандартного и хром-кадмиевого электролитов, определялась на машине Амслера при переменнo-возрастающей нагрузке (25 кг, 50 кг... до 200 кг); каждая нагрузка испытывалась на 1000 оборотов. Колодка была изготовлена из стали 40X,  $R_c=40-45$ , ролик из углеродистой стали с хромовым покрытием толщиной 100 мкм.

Результаты испытаний приведены на рис. 8 и таблице 2.

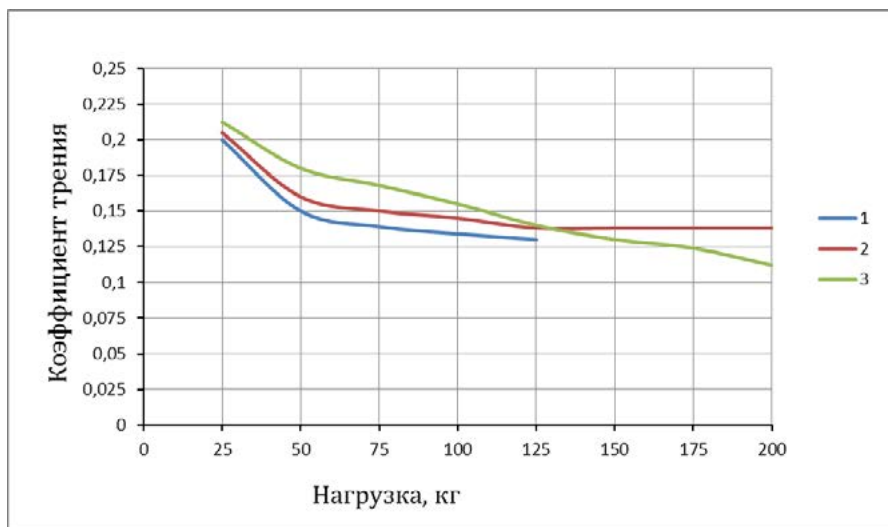


Рисунок 8. Изменение коэффициента трения при испытаниях на износ, где 1 — стандартный электролит; 2 — хром-кадмиевый электролит; 16 — хром-кадмиевый электролит (реверсирование тока)

Из данных рис. 8 видно, что состав электролита не оказывает существенного влияния на значение коэффициента трения. Однако следует отметить, что задиры хромовых покрытий, полученных в стандартном электролите, происходят при нагрузке 125 кг, в то время как задиры хром-кадмиевого покрытия при испытаниях на всех испытанных нагрузках не наблюдались.

Кроме того, хром-кадмиевые покрытия имеют значительно меньший износ по сравнению со стандартным хромовым покрытием — 0,0011 г про-

Таблица 2. Результаты испытаний на износ

Электролит	Режим	Средняя потеря веса, г	
		Ролика	Колодки
Стандартный	Дк=35 А/дм <sup>2</sup> Т=65 °С	0,0048	0,0437
Хром-кадмиевый	Дк=50 А/дм <sup>2</sup> Т=65 °С	0,0011	0,0713
Хром-кадмиевый	Реверсирование тока Дк=от 50 до 90 А/дм <sup>2</sup> Т=65 °С	0,0011	0,0385

тив 0,0048 г. Применение реверсирования тока снижает износ сопряженной детали.

### Выводы

1. Исследовано влияние состава электролитов и режимов хромирования на физико-механические свойства хромовых покрытий.
2. Установлено, что хромовые покрытия, осажденные в хром-кадмиевом электролите, обладают улучшенными физико-механическими свойствами по сравнению с хромовыми покрытиями из стандартного электролита:
  - внутренние напряжения меньше, примерно в 2 раза;
  - в 2 раза меньшее снижение предела усталости хромированной стали;
  - износостойкость выше в 4 раза;
  - возможность более длительной эксплуатации без задиров;
  - осадки хрома более пластичные.

### Список литературы

1. Богатова П. С., Дикий П. А. Современные исследования в области гальванического хромирования //Аграрное образование и наука.— 2023.— № . 2. — С. 3.
2. Sun J. et al. Chromium distribution, leachability and speciation in a chrome plating site //Processes.— 2022. — Т. 10.— № . 1. — С. 142.

3. Красиков А. В. Основы технологии прокатки товарных труб специального назначения из труднодеформируемых марок стали на агрегатах с непрерывными станами с контролируемо-перемещаемой оправкой // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallургия.— 2023. — Т. 23.— № . 2. — С. 14–22.
4. Исследование характера износа оправок стана МРМ и пути повышения срока их эксплуатации, С. Н. Мишин, В. Г. Шеркунов, Е.А.Алюшкаев, Д. О. Струин, Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия».— 2016. — Т. 16.— № 1. — С. 125–130.
5. Cogne Acciai Speciali Spa URL: <https://www.cogne.com/en/> (дата обращения: 17.11.2023).
6. Deutsche Edelstahlwerke (DEW) URL: <https://www.dew-stahl.com/en/> (дата обращения: 17.11.2023).
7. Прошивка на раз-два: ученые НИТУ «МИСиС» разработали новую технологию прокатки легированной стали // Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС URL: <https://misis.ru/news/5586/> (дата обращения: 17.11.2023).

УДК 624.016+ 624.07

## **Краткий обзор исследований о расчетах прочности и устойчивости трубобетонных конструкций при внецентренном сжатии**

**Ведерникова Алёна Андреевна**

старший преподаватель кафедры Архитектурно-строительных конструкций Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета

***Аннотация:** В статье дается обзор исследований трубобетонных конструкций при внецентренном сжатии при расчете на прочность и устойчивость. Трубобетонные конструкции применяют и изучают уже более 80 лет. В нашей стране строительство сооружений с применением трубобетона началось еще до начала Великой Отечественной войны. В данной статье охватывается более короткий период — с 1970-х годов, так как в это время исследования шли наиболее интенсивно и, вместе с развитием теорий пластичности и механики железобетона, в наиболее современном ключе. При-*

ведены исследования как российских, так и зарубежных ученых. Статья состоит из двух частей. В первой описаны исследования прочности трубобетонных элементов. Во второй — исследования устойчивости.

**Abstract:** *The paper gives an overview of the research of pipe-concrete structures under off-centered compression in strength and stability calculations. Pipe-concrete structures have been used and studied for more than 80 years. In our country, the construction of structures with the use of pipe-concrete began before the Great Patriotic War. This article covers a shorter period — since 1970s, because at this time the research was the most intensive and, together with the development of theories of plasticity and mechanics of reinforced concrete, was held in the most modern way. The studies of both Russian and foreign scientists are given. The article consists of two parts. The first one describes the research of strength of pipe-concrete elements. In the second part — studies of stability.*

**Ключевые слова:** *трубобетонные конструкции, внецентренное сжатие, устойчивость, трубобетон, нелинейная деформационная модель, НДМ.*

**Keywords:** *concrete filled steel tube, CFST, nonlinear calculation, eccentric load.*

---

## **Введение**

Исследования прочности и устойчивости обычно идут рука об руку, так как на практике так или иначе встречается необходимость расчетов обоих случаев. Трубобетон используется в качестве сжатых элементов: колонн, опор, сжатых элементов пролетных строений мостов. Центральное сжатие обеспечивают конструктивными решениями при передаче нагрузок, однако даже в этом случае нормы рекомендуют использовать случайный эксцентриситет при расчетах. Поэтому в данной статье рассматриваются расчеты трубобетонных конструкций именно на внецентренное сжатие.

## **Краткий обзор исследований прочности трубобетонных элементов**

Исследования прочности трубобетонных конструкций проводили: Х.Х. Х. Аль-Саеди, А. А. Долженко, В. П. Ефимов, А. Л. Кришан, К. С. Кузнецов, Л. К. Лукша, А. С. Мельничук, В. В. Пинский, А. И. Сагадатов, Р. С. Сан-

жаровский, Л. И. Стороженко, И. С. Яровой, М. А. Астафьева, R. W. Furlong, T. Fujimoto и др., R. Leon, D. Liu, X. Wang, Y.-F. Yang, Y. C. Cai и др.

Темы исследований касались учета обжатия трубой бетона и начальных напряжений в трубе, построение расчетов на прочность с учетом этих факторов. А. А. Долженко [1] исследовал работу центрально и внецентренно сжатых труб, заполненных бетоном с учетом усадки и ползучести трубобетонных стержней. В. И. Маракуца [2] под руководством Л. И. Стороженко исследовал перераспределение напряжений между бетонным ядром и металлической оболочкой при длительном нагружении. Л. К. Лукша [3] разработал методику расчета и подбора сечения для центрально сжатых трубобетонных элементов с учетом обжатия. Х.Х. Х. Аль-Саеди [4] представил метод расчета центрально сжатых и внецентренно сжатых стержней с учетом эффекта обжатия и разработал программу расчета для ЭВМ. В. П. Ефимов [5] изучал прочность сквозных трубобетонных колонн (двухветвевых). В. В. Пинский [6] разработал методику расчета на прочность и определил, при каких относительных эксцентриситетах сохраняется эффект обжатия бетона. А. Л. Кришан [7–11] предложил методику расчета трубобетонных элементов на сжатие с эксцентриситетом итерационным методом, учитывающим поперечные напряжения в трубе, обжатие в бетоне, в том числе, в предварительно напряженных трубах. А. С. Мельничук [12] разработал методику и программу по расчету прочности ТБК квадратного поперечного сечения с использованием нелинейной деформационной модели. К. С. Кузнецов [13] исследовал предварительно напряженные трубобетонные короткие стержни и на основании нелинейной деформационной модели разработал методику оценки напряженно-деформированного состояния и расчета прочности нормальных сечений трубобетонных колонн, работающих на внецентренное сжатие. А. И. Сагадатов [14] предложил усовершенствованную конструкцию ТБ элементов с сердечником и методику расчета. М. А. Астафьева [15] разработала методику расчета прочности прямоугольных и круглых трубобетонных элементов со спиральным армированием, обычным и самоупрочающимся бетоном и провела эксперименты, на которые опирается исследование.

R. W. Furlong [16] был одним из основоположников инженерной методики расчета трубобетонных колонн. Т. Fujimoto [17] разработал методику

расчета на прочность трубобетонных стержней при использовании высокопрочных материалов, исследовал влияние относительной толщины стенки трубы на прочность сечения, а также провел ряд экспериментов (более 60 образцов) для подтверждения своих гипотез.

R. Leon [18] с соавторами создал обширную базу экспериментальных данных для разработки методов расчета и изучил влияние применяемых при расчете диаграмм материалов на точность расчетов. Y. C. Cai [19] усовершенствовал диаграмму взаимодействия для трубобетонных колонн, которая сейчас известна по Еврокоду 4 [20]. D. Liu [21] показал, что нормы Еврокода 4 несколько переоценивают (около 4%), а американские нормы для железобетона и стали (ACI 318–02) недооценивают прочность трубобетонных элементов (до 24%). X. Wang [22, 23], L.-H. Han и Y.-F. Yang [24] испытывали короткие трубобетонные стержни на прочность.

Как российские, так и зарубежные авторы, предлагают два подхода к решению задачи прочности.

1. По предельному равновесию сечения (рис. 1):

$$\begin{cases} N_{\text{внеш}} = N_{\text{внутр}} \\ M_{\text{внеш}} = M_{\text{внутр}} \end{cases},$$

где  $N$  — продольная сжимающая сила,  $M$  — момент, который равен, по сути,  $N \times e$ . Подстрочная надпись «внеш» относится к внешней силе и моменту, а «внутр» к возникающим в сечении внутренним усилиям.

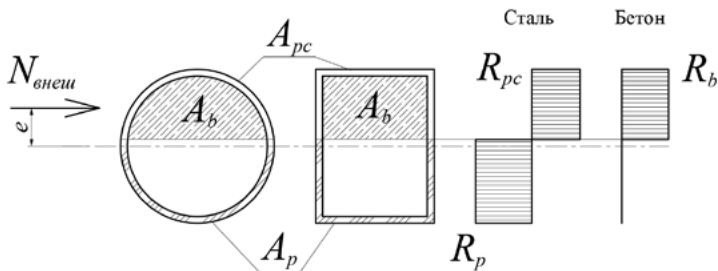


Рисунок 1. К расчету по методу предельного равновесия.  $R_b$  — расчетное сопротивление бетона на сжатие,  $R_p$  — расчётное сопротивление стали трубы на растяжение,  $R_{рс}$  — расчетное сопротивление стали трубы на сжатие,  $e$  — эксцентриситет приложения силы  $N$

Считается что напряжения в бетоне и трубе достигли пределов прочности, дополнительное обжатие учитывается увеличением прочности бетона и уменьшением прочности сжатой части стальной трубы по эмпирическим формулам.

2. По нелинейной деформационной модели (НДМ) [25].

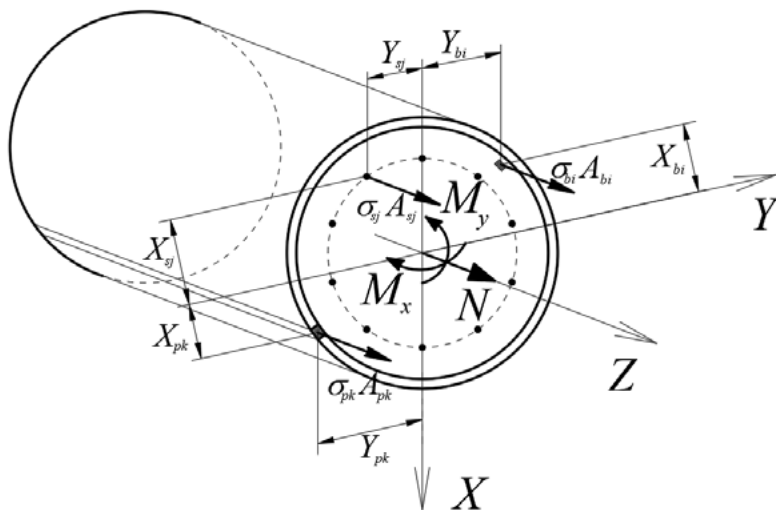


Рисунок 2. К расчету по нелинейной деформационной модели

Предполагается, что действует гипотеза плоских сечений, а напряжения определяются по диаграммам деформирования бетона и стали, которые могут быть различными. Самые простые — билинейные (диаграммы Прандтля). Сечение делится на малые площадки  $A_{bi}$ ,  $A_{pk}$  и  $A_{sj}$  (которые соответствуют бетону, трубе и арматуре) с координатами  $X_i$  и  $Y_i$ .  $s_{bi}$ ,  $s_{sj}$ ,  $s_{pk}$ , — напряжения, действующие в сечении.

Уравнение равновесия внешних и внутренних сил выглядит следующим образом:

$$M_y = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} X_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} X_{sj} + \sum_k \sigma_{pk} A_{pk} X_{pk};$$

$$M_x = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} Y_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} Y_{sj} + \sum_k \sigma_{pk} A_{pk} Y_{pk};$$

$$N = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} + \sum_k \sigma_{pk} A_{pk};$$

Внешняя нагрузка прикладывается пошагово, пока предельные деформации не достигнут предельных относительных деформаций

$$|\varepsilon_{b,\max}| = \varepsilon_{b,ult} ;$$

$$\varepsilon_{s,\max} = \varepsilon_{s,ult} ;$$

$$\varepsilon_{p,\max} = \varepsilon_{p,ult} ;$$

Таким образом решение по нелинейной деформационной модели представляет собой итерационный процесс. Учет обжатия бетона трубой может быть произведен в этом решении, что и было сделано в работах А. Л. Кришана, причем не на основе эмпирических зависимостей, а в соответствии с уравнениями механики железобетона.

На работу трубобетонных сечений может оказывать влияние соотношение толщины стенки трубы и размера сечения. R. Leon, а также работы М. А. Bradford [26] посвящены предельным гибкостям стенки трубы. Нормативные документы обычно приводят границы соотношения толщины стенки к диаметру трубы, при которых действует тот или иной метод решения. Например, СП 266 предлагает использовать трубы, толщина стенки которых по отношению к диаметру находится в диапазоне от 0,0064 до 0,046.

## **Краткий обзор исследований устойчивости трубобетонных элементов**

Вопросами устойчивости трубобетонных элементов занимались Р. С. Санжаровский [27, 28], И. С. Яровой [29], В. П. Ефимов, В. А. Шеховцов [30], Д. В. Цыгулев [31] в России, R. Leon и T. Perea [32], М. А. Bradford [33], V. I. Patel, Q. Q. Liang и M. Hadi [34], M. L. Romero [35], A. H. Varma и Z. Lai [36, 37], J. Hajjar и B. C. Gourley [38], K. Sakino [39], R. Q. Bridge [40], Y. C. Cai [19], K. Cederwall [41] за рубежом.

Различают устойчивость центрально-сжатых стержней и внецентренно-сжатых. Также обычно рассматривают отдельно устойчивость круглых и прямоугольных стержней из-за учета эффекта обоймы. Рациональным кажется рассмотреть только внецентренно сжатые стержни, так как даже



при отсутствии эксцентриситета действия нагрузки, назначается случайный эксцентриситет в соответствии с современными нормами.

В процессе знакомства с методиками расчета стержней на устойчивость было выявлено несколько подходов. Условно их можно разделить на приведение к бетонному сечению и расчет по принципам расчета железобетонных конструкций, подход, аналогичный расчету стальных конструкций, и составление таблиц коэффициентов устойчивости и «фибровый» подход.

### Приведение к бетону

Как и в СП 63.13330.2016 [42], подобные методы предлагают рассчитывать трубобетонные стержни по недеформированной схеме с учетом коэффициентов внецентренности.

Например, такое решение было предложено И. С. Яровым:

$$\eta = \frac{1}{1 - 12c_r Z R_{\text{и}} F_{\text{пр}} \left( \frac{L}{r_{\text{инп}}} \right)^2},$$

где  $N$  — внешняя продольная сила,  $R_{\text{и}}$  — сопротивление бетона сжатой зоны элемента,  $L$  — расчетная длина стержня,  $F_{\text{пр}}$  — приведенная площадь поперечного сечения,  $r_{\text{инп}}$  — радиус инерции приведенного сечения,  $c_r$  — характеристика жесткости, приведенная автором в табличной форме,  $z$  — коэффициент, зависящий от соотношения размеров сечения и эксцентриситета.

Решение задачи устойчивости сводилось к задаче прочности с увеличенным эксцентриситетом для продольной силы.

### Расчет через коэффициенты устойчивости

Другим решением задачи было ввести коэффициент продольного изгиба  $\varphi$ , подобный известному в расчете устойчивости металлических конструкций, на который бы умножалось значение несущей способности сечения на сжатие. Такой подход был выбран: Р. С. Санжаровским, В. А. Шеховцовым, В. П. Ефимов, Д. В. Цыгулев. Для учета внецентренного сжатия вводился коэффициент приведенного эксцентриситета.

Работа Р. С. Санжаровского наиболее полно описывает расчет на устойчивость круглых трубобетонных стержней, центрально и внецентренно сжатых, подвергнутых кратковременным и длительным нагрузкам.

За критерий устойчивости берется критерий Ляпунова: если при нулевом приращении внешней силы внутренний изгибающий момент не равен нулю — произошла потеря устойчивости. Кривая, по которой деформируется стержень описана функцией косинуса.

$$M_{\text{вн}} = \int_F \sigma z dF ;$$

$$P_{\text{вн}} = \int_F \sigma dF ;$$

$$y = f \cos\left(\frac{x}{L}\right).$$

Интегрирование производится с учетом гипотезы плоских сечений.

Условия равновесия дают:

$$P = P_{\text{вн}} ; M_{\text{вн}} = P(e + f)$$

где  $f$  — прогиб стержня.

Преобразовывая выражения, получают систему нелинейных уравнений. Точное решение представляет собой довольно сложный итерационный процесс, реализуемый на ЭВМ. Основанная на нем методика инженерного расчета проста.

Методика позволяет произвести расчет с учетом развития пластических деформаций, и приводится методика, с использованием коэффициента устойчивости [2]. Для расчета при известных параметрах рассчитывается относительный эксцентриситет:

$$m_{\text{прив}} = \frac{e}{R} - \frac{1}{0,5 - 0,25 \frac{1}{1 + \frac{\mu n}{k}}},$$

где  $\mu = \frac{F_c}{F_b}$ ;  $k = \frac{\sigma_T^6}{\sigma_T}$ ;  $n = \frac{\epsilon_T^6}{\epsilon_T}$ ,  $R$  — радиус бетонного ядра,  $e$  — эксцентриситет приложения нагрузки,  $F_c$  и  $F_b$  — площади стали и бетона соответ-

ственно,  $R_T$  и  $R_T^6$  — расчетное сопротивление стали и бетона,  $\sigma_T$  и  $\sigma_T^6$  — деформации стали и бетона по пределу текучести.

Приведенная гибкость:

$$\lambda_{\text{прив}} = \frac{L}{R} \cdot \frac{1}{\sqrt{0,5 - 0,25 \frac{1}{1 + \frac{\mu n}{k}}}},$$

где  $L$  — длина стержня.

По этим двум величинам по графикам, данным автором, находится коэффициент продольной гибкости и несущая способность.

$$N_{\text{нес}} = \phi \cdot \Phi_2,$$

$$\text{где } \Phi_2 = m(k_b \sigma_T^6 F_b + k_c R_c F_c), m = 1.$$

В работе [30] проводится теоретическое и экспериментальное исследование устойчивости комплексных стержней при различных схемах нагружения. Эта диссертация дополняет работу Р. С. Санжаровского, так как в рассмотрение вводятся стержни, загруженные дополнительно поперечной равномерно распределенной нагрузкой.

Устойчивость трубобетонных стержней рассмотрена также в работе Ефимова В. П. Основная идея указанном расчете, это приведение бетонного сечения к стальному и расчет по формулам СНиП «Стальные конструкции». Идея хорошо показала себя для гибких и внецентренно сжатых стержней, так как в них вклад в несущую способность бетона сравнительно не велик (в основном бетонное ядро обеспечивает местную устойчивость стенок трубы).

Работа Д. В. Цыгулева, посвященная вопросу устойчивости прямоугольных труб, заполненных бетоном, тоже предлагает расчет с учетом коэффициента устойчивости. Предлагается определять несущую способность по устойчивости из несущей способности сечения трубы на центральное сжатие, умноженной на коэффициент устойчивости, определяемый в зависимости от значения относительного эксцентриситета по предложенным графикам.

Все перечисленные работы, кроме Д. В. Цыгулева предполагают загрузку в одной плоскости с равными концевыми эксцентриситетами.

В указанных работах не проводился учет начальных напряжений в стенке трубы.

### **«Фибровая» модель**

Третьим, современным решением, является «фибровая» модель (не путать с фибробетоном) и инженерные методики на ее основе. Модель освещается в работах T. Perea, V. I. Patel, Q. Q. Liang, M. Hadi и др., где используется нелинейная фибровая процедура расчета трубобетонных элементов круглого и прямоугольного сечения. Фибровым расчет называется потому, что сечение разбивается на отдельные малые площадки, которые в осевом направлении образуют волокна-фибры. Для стали и бетона задаются действительные диаграммы растяжения-сжатия, задаются параметры для обжатого бетона. Несущая способность определяется с учетом прогибов среднего сечения стержня. Дополнительные кривизны для гибких элементов задаются уравнением синусоиды. Общая схема загрузки представлена на рис. 3.

Подобно «фибровой» модели Р. С. Санжаровский также разбивал сечение трубобетонного элемента на полосы и использовал диаграммы Прандтля для стали и бетона.

Указанная методика расчета в данный момент считается наиболее прогрессивной, так как позволяет произвести расчет с геометрическими и физическими характеристиками, близкими к действительности, использовать диаграммы деформирования материалов, учесть упрочнение бетона при обжатии. Благодаря развитию компьютерных технологий кажущаяся сложность расчета не представляет проблем. Она универсальна и подходит для стержней различного сечения (с небольшими оговорками). Ближайшим ее аналогом в РФ является нелинейная деформационная модель, применяемая в СП 266 [25], и реализация расчетов с учетом объемной работы бетона в работах А. Л. Кришана и его учеников. В работе [11] расчеты гибких стержней развились дальше: учитывается не только обжатие бетона, плоское напряженное состояние трубы, но и изменение жесткости стержня по длине — стержень разбивается на участки (8 шт.), между которыми по 9 сечениям контролируется жесткость по уравнениям

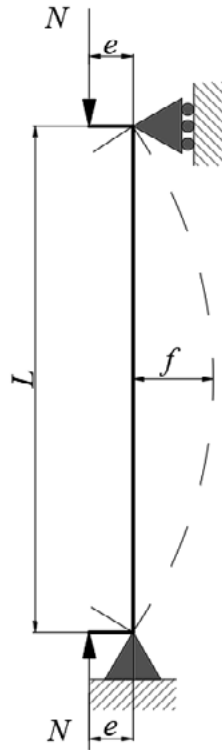


Рисунок 3. Схема загрузки трубобетонного стержня

НДМ. Таким образом значение прогибов можно получить точнее, а значит, и несущей способности. Эти же идеи высказаны в работе [43].

Все «фибровые» методы являются итерационными, с пошаговым приложением нагрузки. Упрощенный инженерный анализ для случая равных одноосных эксцентриситетов приводится, например, у Lu [44].

## Выводы

В настоящий момент развития расчетов трубобетонных конструкций используются нелинейные методы расчета с использованием диаграмм

деформирования материалов, учетом несовершенств и гибкости элементов конструкций, учитывается трехосная работа бетона и двuosная стали трубы. По длине стержней при расчете на гибкость учитывается их переменная жесткость. Авторы исследований провели испытания и откалибровали методики расчета для различных соотношений бетонов и сталей по прочности, в том числе, высокопрочных, показали зависимости несущей способности от соотношения эксцентриситета и толщины стенки трубы к размеру поперечного сечения.

### Список литературы

1. Долженко А. А. Трубчатая арматура в железобетоне: Дисс. докт. техн. наук. М. 1963. 413 с.
2. Маракуца В. И. Прочность и устойчивость трубобетонных элементов при кратковременном и длительном нагружении: дисс. ...канд. тех. наук: 05.23.01 / В. И. Маракуца. Киев, 1969. 256 с.
3. Лукша Л. К. Прочность трубобетона. Минск: Высшая школа. 1977. 95 с.
4. Аль-Саеди Х.Х. Х. Прочность трубобетона при внецентренном сжатии: Дис. канд. техн. наук. Минск. 1988. 125 с.
5. Ефимов В. П. Упрощенная методика расчета несущей способности внецентренно сжатых трубобетонных колонн / В. П. Ефимов // Новые методы расчета строительных конструкций. Межвузовский тематический сборник трудов. Л.: ЛИСИ. 1983. С. 42–52.
6. Пинский В. В. Несущая способность элементов и узлов из трубобетона: Дисс. канд. техн. наук-Кривой Рог, 1988. 170 с.
7. Кришан, А. Л. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром: диссертация ... доктора технических наук: 05.23.01 / Анатолий Леонидович Кришан. Магнитогорск, 2011. 380 с.
8. Кришан А. Л. Прочность трубобетонных колонн квадратного сечения при осевом сжатии / А. Л. Кришан, А. С. Мельничук // вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2012. № 3. С. 51–54.
9. Кришан А. Л. Реализация нелинейной деформационной модели при расчете прочности трубобетонных колонн / А. Л. Кришан, А. С. Мельничук, А. И. Сагадатов // Предотвращение аварий зданий и сооруже-

- ний. Электронный журнал. Режим доступа: <http://www.pamag.ru/prensa/non-linear-def-mod>.
10. Кришан А.Л., Римшин В.И., Астафьева М.А., Ступак А.А., С. М. Анпилов Учет гибкости при расчете прочности центрально сжатых трубобетонных колонн квадратного сечения // Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции. 2023. № 4 (108). С. 47–56.
  11. Кришан А.Л., Римшин В.И., Астафьева М. А. Сжатые трубобетонные элементы. Теория и практика. Москва: АСВ; 2020. 375 с.
  12. Мельничук А. С. Прочность коротких трубобетонных колонн квадратного поперечного сечения. Дисс. к.т.н. Магнитогорск. 2014.
  13. Кузнецов К. С. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром из высокопрочного бетона. Дисс. канд. техн. наук Магнитогорск, 2007.— 154 с.
  14. Сагадатов А. И. Напряженно-деформированное состояние сжатых трубобетонных элементов с внутренним стальным сердечником. Диссертация на к.т.н. Магнитогорск. 2006. 180 с.
  15. Астафьева М. А. Прочность сталетрубобетонных колонн со спиральным армированием бетона: Дис. канд. техн. наук. Магнитогорск, 2019. 143 с.
  16. Furlong R. W. Strength of steel-encased concrete beam columns // Journal of the Structural division Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 1967. № 93(5). Pp. 113–124.
  17. Fujimoto T. Behavior of Eccentrically Loaded Concrete-Filled Steel Tubular Columns/ T. Fujimoto; A. Mukai; I. Nishiyama; K. Sakino//Journal of Structural Engineering. 2004. № 130. С. 203–212.
  18. Leon R. Concrete-Filled Tubes Columns and Beam-Columns: A Database for the AISC 2005 and 2010 Specifications/ R. Leon, T. Perea, J. Hajjar, M. Denavit. URL: [businessdocbox.com/Construction/69076363-Concrete-filled-tubes-columns-and-beam-columns-a-database-for-the-aisc-2005-and-2010-specifications.html](https://businessdocbox.com/Construction/69076363-Concrete-filled-tubes-columns-and-beam-columns-a-database-for-the-aisc-2005-and-2010-specifications.html) (дата обращения: 01.11.2023).
  19. Su M.N., Cai Y.C., Chen X.R., Young B. (2020) Behaviour of Concrete-filled Cold-formed High Strength Steel Circular Stub Columns, Thin-Walled Structures, 157.11.2023).

20. Джонсон Р. П. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций EN 1994–1–1. М.: МГСУ, 2013. 414 с.
21. Liu D. Behaviour of eccentrically loaded high-strength rectangular concrete-filled steel tubular columns/ D. Liu // Journal of Constructional Steel Research. 2006. № 62 С. 839–846.
22. Wang X. Behavior of, 107078. URL: [researchgate.net/publication/346061094](https://researchgate.net/publication/346061094) (дата обращения: 01
23. short circular tubed-reinforced-concrete columns subjected to eccentric compression/X. Wanga, J. Liu, S. Zhang //Engineering Structures. 2015. № 91. С. 77–86.
24. Wang X. Behaviour and design method of short square tubed-steel-reinforced-concrete columns under eccentric loading/ X. Wang, J. Liu, X. Zhou //Journal of Constructional Steel Research. 2016. № 116. С. 193–203.
25. Yang Y.-F., Han L.-H. Behaviour of concrete filled steel tubular (CFST) stub columns under eccentric partial compression/ Yang Y.-F., Han L.-H. // Thin-Walled Structures. 2011. № 49. С. 379–395.
26. СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования». Минстрой России. URL: [minstroyrf.gov.ru/docs/13674/](https://minstroyrf.gov.ru/docs/13674/) (дата обращения: 01.11.2023).
27. Bradford M.A., Loh H.Y., Uy B. Slenderness limits for filled circular steel tubes//Journal of Constructional Steel Research. 2002. № 58 Pp. 243–252.
28. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Труль В. А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. М.: Стройиздат, 1974. 144 с.
29. Санжаровский Р. С. Теория и расчет прочности и устойчивости элементов конструкций из стальных труб, заполненных бетоном: дисс. ... док. тех. наук: 05.23.01 / Рудольф Сергеевич Санжаровский. М, 1977. 453 с.
30. Яровой И. С. Исследование напряженно-деформированного состояния гибких внецентренно сжатых труботонных элементов при кратковременном и длительном действии нагрузки: Дис. канд. техн. наук Кривой Рог, 1974. 195 с.
31. Шеховцов В. А. Экспериментально-теоретическое исследование устойчивости сжато-изогнутых комплексных стержневых элементов конструкций в упругопластической стадии работы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Л., 1981. 24 с.



32. Цыгулев Д. В. Устойчивость трубобетонных элементов прямоугольного сечения, сжатых с двухосным эксцентриситетом. Дисс. канд. техн. наук. Усть-Каменогорск. 1999. 174 с.
33. Perea T., Leon R. Behavior of composite CFT beam-columns based on nonlinear fiber analysis/ T. Perea, R. Leon // International Conference on Composite Construction in Steel and Concrete. 2008. doi.org/10.1061/41142(396)20.
34. Bradford M. A. Design of slender concrete-filled rectangular steel tubes/M. A. Bradford, S. H. Nguen // studies from the School of Civil Engineering. UNICIV report No. R-326, Kensington, 1994. 21 с.
35. Hadi M. High strength thin-walled rectangular concrete-filled tubular slender beam-columns, Part II: Behaviour / Hadi M., Liang Q.Q., Patel V.I. // Journal of Constructional Steel Research, 2012. 32 с. URL: ro.uow.edu.au/engrapes/4324/ (дата обращения: 01.11.2023).
36. Portolés J. M. Experimental study of high strength concrete-filled circular tubular columns under eccentric loading / Portolés J.M., Romero M.L., Bonet J.L., Filippou F.C. //Journal of Constructional Steel Research. 2011. № 67. С. 623–633.
37. Lai Z. Experimental database, analysis and design of noncompact and slender concrete-filled steel tube (CFT) members. Open Access Dissertations. 2014. 314 с. URL: docs.lib.purdue.edu/open\_access\_dissertations/314 (дата обращения: 01.11.2023).
38. Lai Z. Effective stress-strain relationships for analysis of noncompact and slender filled composite (CFT) members/ Z. Lai, A. H. Varma //Engineering Structures. 2016. № 124 С. 457–472.
39. Gourley B.C. A synopsis of studies of the monotonic and cyclic behavior of concrete filled steel tube beam-column. Structural Engineering Report No. ST-01–4/ Gourley B. C., Tort C., Hajjar J. F., Schiller P. H./ Department of Civil Engineering, Institute of Technology, University of Minnesota, USA, 2001. 269 с.
40. Nishiyama I. Summary of research on concrete-filled structural steel tube column system carried out under the US-Japan cooperative research program on composite and hybrid structures / S. Morino, K. Sakino, H. Nakahara, T. Fujimoto, A. Mukai, E. Inai, M. Kai и др.// BRI Research paper No. 147. 2002. 176 с. URL: kenken.go.jp/english/contents/publications/paper/pdf/147.pdf (дата обращения: 01.11.2023).

41. O'Shea M. D., Bridge R. Q. Design of circular thin-walled concrete filled steel tubes //Journal of Structural Engineering. 2000. Т. 126. № . 11. С. 1295–1303.
42. Cederwall K., Engstrom B., Grauers M. High-strength concrete used in composite columns// ACI Symposium Publication. № 121. 1990. doi.org/10.14359/2838.
43. СП 63.13330.2018 «СНиП 52–01–2003Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». Минстрой России. URL: minstroyrf.gov.ru/docs/18227/ (дата обращения: 01.11.2023).
44. Ведерникова, А. А. Численно-аналитический расчет устойчивости внецентренно сжатых трубобетонных стержней круглого и квадратного сечения /А.А. Ведерникова // Вестник СевКавГТИ. 2017. № 3(30). С. 112–118.
45. Lu F.W. A study on the behavior of eccentrically compressed square concrete-filled steel tube columns/ F. W. Lu, S. P. Li, G. Sun //Journal of Constructional Steel Research. 2007. № 63. С. 941–948.

УДК 691.32

## **Влияние сцепления стержневой арматуры с бетоном на прочность и деформативность железобетонных конструкций. Обзорная статья**

**Рыжикова Наталия Валериевна**

магистрант Санкт-Петербургского государственного  
архитектурно-строительного университета

***Аннотация:** В данной статье рассматриваются вопросы влияния параметров сцепления стержневой арматуры с бетоном на основные характеристики железобетонного элемента, такие как его прочностные и жесткостные характеристики.*

***Abstract:** This paper deals with the influence of bonding parameters of bar reinforcement with concrete on the main characteristics of a reinforced concrete element, such as its strength and stiffness characteristics.*

***Ключевые слова:** железобетон, арматура, стержневая арматура, сцепление арматуры с бетоном.*

*Keywords: reinforced concrete, reinforcement, core reinforcement, reinforcement coupling with concrete.*

---

## **Введение**

Одним из ключевых факторов, обеспечивающих совместную работу арматуры и бетона в конструкции и позволяющих работать двухкомпонентному железобетону как единому телу, является сцепление арматуры с бетоном.

Сцепление арматуры с бетоном является важным параметром для железобетонных элементов, т.к. полная или частичная потеря сцепления может привести к перераспределению напряжений в узле, появлению дополнительных деформаций, трещин, а в отдельных случаях к разрушению.

## **Факторы, влияющие на сцепление арматуры с бетоном**

Сцепление бетона и арматуры зависит от множества факторов, выделим основные из них [1–3]:

- Способность бетона сопротивляться смятию с срезу в зонах механического зацепления;
- Трение на поверхности контакта «бетон-арматура»;
- Адгезионное сцепление.

Следует отметить, что прочность сцепления возрастает при повышении класса бетона. Кроме того, существенное влияние на параметры сцепления оказывает напряженно-деформированное состояние конкретного элемента. Так, например, сжимающие напряжения, если они действуют перпендикулярно рассматриваемому арматурному стержню повышают сцепление.

## **Механизм потери сцепления неповрежденного бетона и арматуры**

Для определения параметров сцепления арматуры и бетона проводится множество исследований и испытаний. Так, например, проводятся испытания на вырыв арматуры из прямоугольного или круглого образца.



Рисунок 1. Центально-армированный прямоугольный образец

Механизм разрушения [4] предполагает на первых стадиях образование расходящихся под углом 45–80 градусов трещин, образующих своеобразный конус (рисунок 2). Затем, при увеличении нагрузки, образуются сдвиговые трещины.

Именно образование сдвиговых трещин обуславливает существенную потерю сцепления арматуры с бетоном и ведет к быстрому нарастанию необратимых деформаций.

### **Влияние потери сцепления на основные параметры железобетонного элемента**

Наибольшее влияние потеря сцепления арматуры и бетона оказывает на изгибаемые элементы, особенно если такой потерявший сцепление стержень находится в растянутой зоне. Причиной потери сцепления в этом

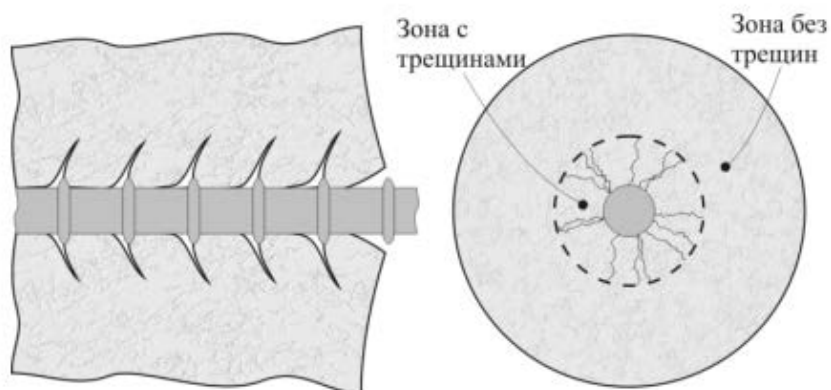


Рисунок 2. Образование конусообразных трещин

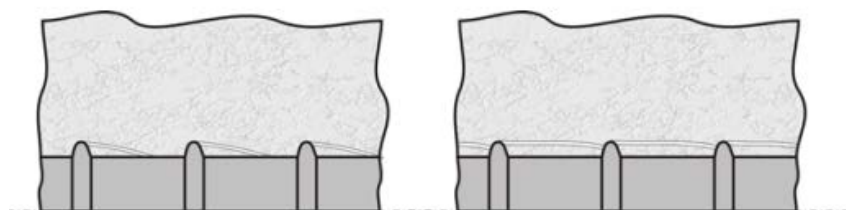


Рисунок 3. Образование сдвиговых трещин

случае может быть коррозия арматуры и разрушение защитного слоя. В этом случае, потеря сцепления приводит к следующим последствиям:

- уменьшение жесткости элемента, и как следствие, увеличение деформативности;
- снижение несущей способности из-за перераспределения напряжений;
- снижению долговечности из-за разрушения поверхности элемента.

В рамках данной работы проведен численный эксперимент, моделирующий четырёхточечный изгиб на железобетонной балке.

Цель эксперимента показать принципиальные отличия в работе изгибаемого элемента при нарушении контакта между бетоном и арматурой. В растянутой зоне балка армирована 3-мя стержнями диаметром 12мм.

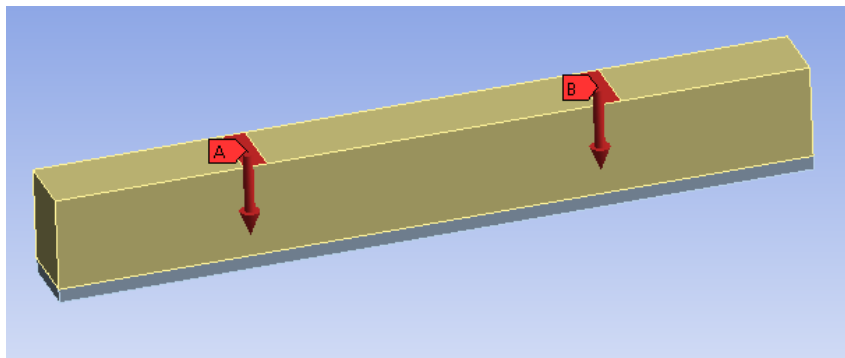


Рисунок 4. Общий вид расчетной модели без нарушения контакта между бетоном и арматурой

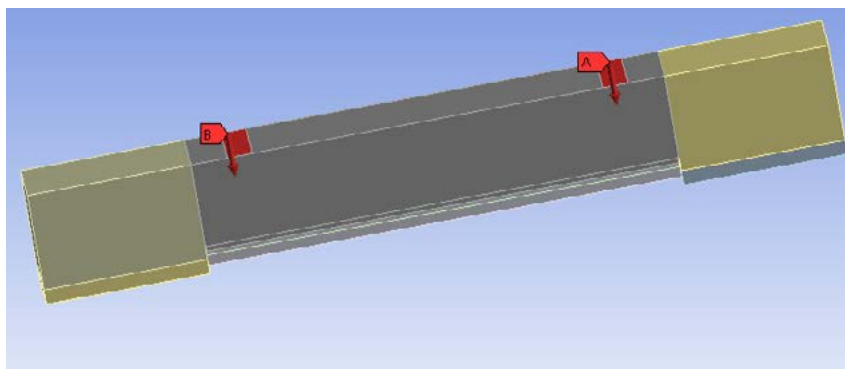
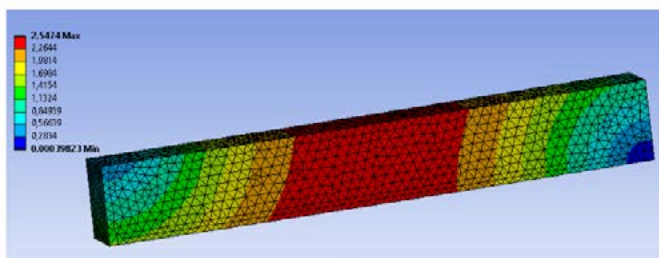


Рисунок 5. Общий вид расчетной модели с нарушением контакта между бетоном и арматурой

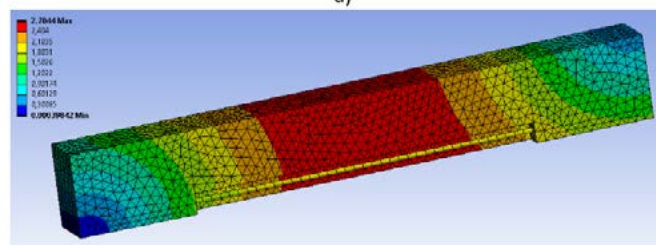
В данном случае, отсутствие сцепления одного стержня с бетоном привело к изменениям в НДС элемента — в пределах 4–6%.

## Выводы

В данной статье на основании данных, полученных из многочисленных исследований, а также данных проведенного численного эксперимента

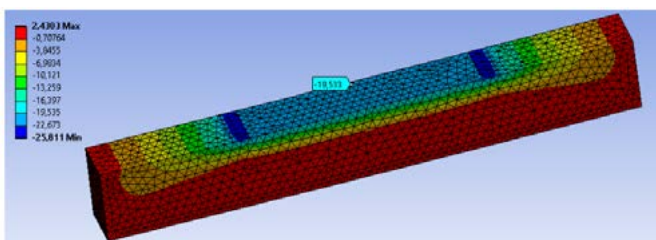


а)

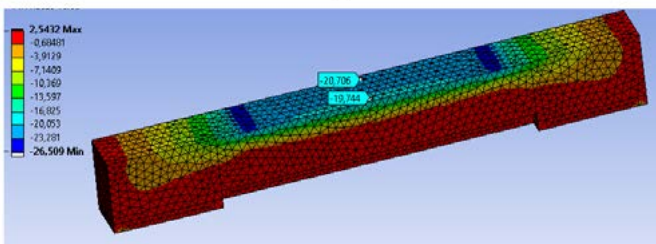


б)

Рисунок 6. Результаты. Прогиб, мм



а)



б)

Рисунок 7. Результаты. Напряжения в сжатой зоне, МПа

показано, какое принципиальное влияние может оказывать отсутствие сцепления арматуры с бетоном на изгибаемый железобетонный элемент.

При отсутствии сцепления арматуры с бетоном при прочих равных в изгибаемом элементе происходит увеличение напряжений в сжатой зоне бетона, а также увеличение прогибов. В рассмотренном примере эффект составляет 4–6%, однако он может увеличиться в зависимости от конфигурации сечения.

### Список литературы

1. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. Монография. М.: АСВ, 2004. 560 с.
2. Хейнтц А. Фибробетон. Перспективы применения // Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. Ежегодный сборник. 2009. Вып. 2. С. 92–94.
3. Талантова К.В., Михеев Н. М. Сталефибробетон и конструкции на его основе. Монография. СПб: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2014. 280 с.
4. Моргун Л.В., Моргун В.Н., Смирнова П.В., Бацман М. О. Зависимость скорости формирования структуры пенобетонов от температуры сырьевых компонентов // Строительные материалы. 2008. № 6. С. 50–52.
5. Петрова Т.М., Сорвачева Ю. А. Внутренняя коррозия бетона как фактор снижения долговечности объектов транспортного строительства // Наука и транспорт. Транспортное строительство. 2012. № 4. С. 56–60.
6. Stark J. Alkali-Kieselsaure-Reaktion. F. A. Finqer institute fur Baustoffkunde. 2008. 139 p.
7. Управление процессами технологии, структурой и свойствами бетонов / Под ред. Е.М.Чернышева, Е. И. Шмицько. Воронеж: Воронеж-ГАСУ, 2002. С. 78–124.
8. Герега А.Н., Выровой В. Н. Управление свойствами композиционных материалов. Перколяционный подход // Вестник ОГАСА. 2005. Вып. 20. С. 56–61.



УДК 006.86

## **Метод компенсации овализации магистрального трубопровода на этапе строительно-монтажных работ**

**Лескова Елена Александровна**

руководитель группы линейного отдела Филиала АО «Гипротрубопровод» —  
«Самарагипротрубопровод»

**Анискина Алена Наильевна**

главный эксперт проекта отдела комплексной экспертизы Самарского филиала  
ФАУ «Главгосэкспертиза России»

**Леденев Сергей Александрович**

главный специалист линейного отдела Филиала АО «Гипротрубопровод» —  
«Самарагипротрубопровод»

***Аннотация:** В статье рассматривается проведение внутритрубной диагностики с созданием давления перед диагностическим снарядом в качестве одного из вариантов компенсации «овализации» на этапе строительно-монтажных работ магистрального трубопровода.*

***Abstract:** The article considers the in-line diagnostics with pressure creation before the diagnostic shell as one of the options for compensation of “ovalization” at the stage of construction and installation works of the main pipeline.*

***Ключевые слова:** магистральный трубопровод, внутритрубный диагностический прибор, внешняя нагрузка, дефект, овализация, давление.*

***Keywords:** main pipeline, in-line diagnostic device, external load, defect, ovalization, pressure.*

.....

Магистральный транспорт нефти, нефтепродуктов и газа является неотъемлемой составляющей поставки сырья и готового топлива потребителям. Большие объемы и удобное расположение трубопроводных систем на Евразийском континенте дают России возможность оказывать влияние на геополитическое развитие энергетического рынка (рис. 1). Для обес-

печения бесперебойных поставок необходимо гарантировать надежность и безопасность при строительстве и эксплуатации трубопроводных систем.

Один из ключевых способов достижения надежности и повышения безопасности заключается в правильном выборе конструктивных и технологических решений при прокладке линейной части трубопроводов, которые определяются на стадии проектирования и реализуются при строительстве или реконструкции трубопровода.

Если несущая способность трубопровода недостаточна для восприятия нагрузок во время эксплуатации, это может привести к его разрушению. Поэтому для выявления дефектов до ввода трубопровода в эксплуатацию на этапе завершения строительно-монтажных работ проводится внутритрубная диагностика трубопровода с последующим проведением дополнительного дефектоскопического контроля и устранением дефектов.

На примере трех объектов магистрального нефтепровода номинальным диаметром 1200 мм можно увидеть (табл. 1), что при диагностике трубопровода профиломером PRN на этапе завершения строительно-монтажных работ, выявляется значительное количество дефектов типа «овализация».

При значениях овальности, превышающие 5% или при значении внутреннего диаметра трубы менее диаметра требуемого для пропуска внутритрубного диагностического прибора, необходимо устранить дефект до ввода трубопровода в эксплуатацию [1, с. 57].

Однако вскрытие трубы на участках выявленных дефектов (табл. 1) и фактического снятия нагрузки от грунта засыпки «овализация» трубы была не подтверждена либо ее значение не превышало 5% [1, с. 40].

Одним из факторов, влияющих на возникновение овализации трубы, являются внешние нагрузки. Подземные трубопроводы испытывают воздействия от давления грунта засыпки и подвижных нагрузок, которые могут находиться над трубопроводом (автомобили, тракторы, различные сельскохозяйственные машины и т. д.). Стальные трубы, ведут себя в грунте значительно лучше, чем жесткие, так как деформации их стенок от действия активных сил встречают сопротивления грунта. Если магистральный нефтепровод или газопровод рассчитан по первому предельному состоянию, т.е. на прочность под действием внутреннего давления, то нет

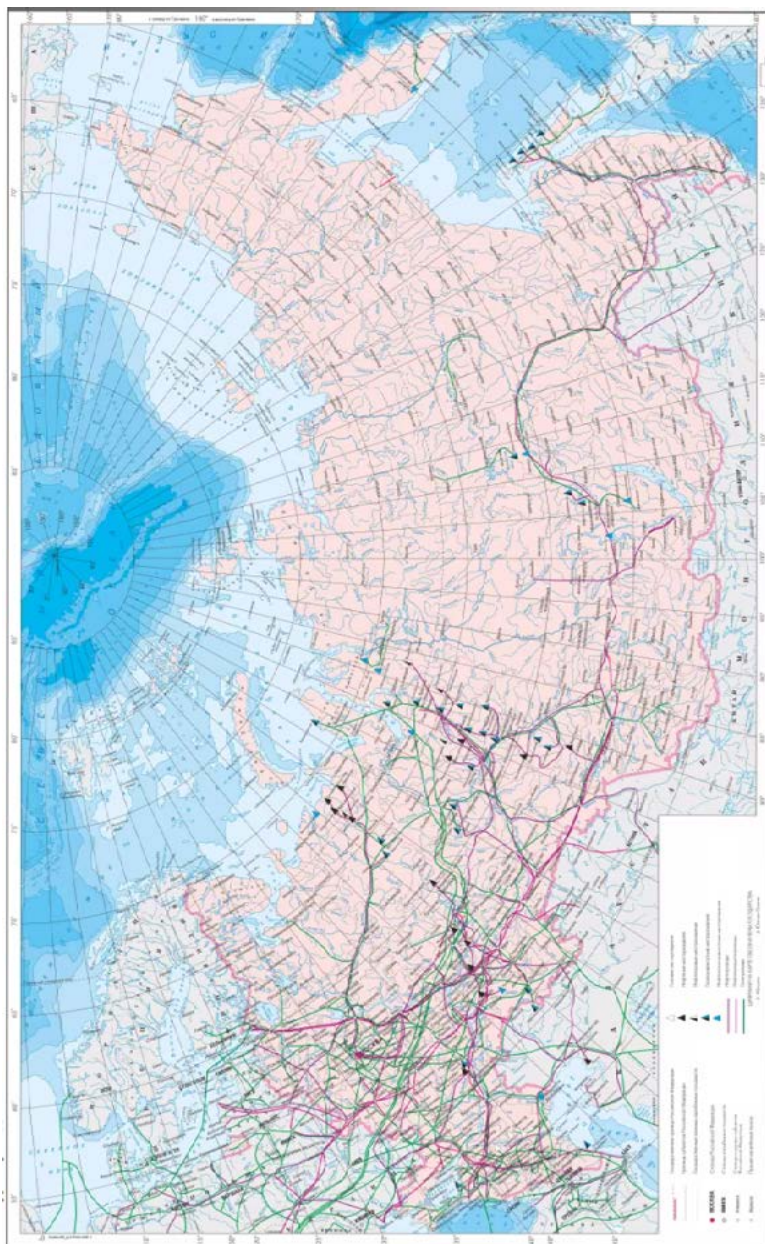


Рисунок 1. Сеть трубопроводов России

Таблица 1. Данные о количестве дефектов типа «овальность» выявленных при проведении ВТД на этапе СМР

Магистральный трубопровод	«Куйбышев-Унеча-2»	«Куйбышев-Унеча-2»	«Холмогоры-Клин»
Протяженность участка магистрального трубопровода DN 1200, км	11,3	88,57	16,2
Толщина стенки, мм	13		
Класс прочности стали	K56		
Количество выявленных дефектов типа овальность, в т.ч:	331	421	57
– овальность по телу трубы или на прямолинейном участке отвода	329	420	57
– овальность на изогнутом участке отвода	2	1	0

оснований опасаться, что трубы могут потерять устойчивость от внешних нагрузок. Обычно магистральные трубопроводы работают при значительном внутреннем давлении, которое с избытком воспринимает все возможные в процессе эксплуатации внешние нагрузки [2, с. 33].

Однако до ввода в эксплуатацию трубопровода, внутреннее давление в трубе отсутствует и на отдельных участках возможно изменение кольцевой формы трубы.

Овальность определяется как разность максимального и минимального наружных диаметров трубы в одном сечении, отнесенная к номинальному наружному диаметру трубы (рис. 2):

$$\theta = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_n} \cdot 100, \%$$

Степень овализации трубы прямо пропорциональна распределенной внешней нагрузке на трубопровод (давления от грунта засыпки и от транспорта) и обратна пропорциональна цилиндрической жесткости оболочки трубы [1, с. 56].

Следовательно, для уменьшения степени овализации трубы без внутреннего давления следует либо назначать меньшую глубину заложения трубопровода, что не всегда возможно из-за сложного рельефа и пере-

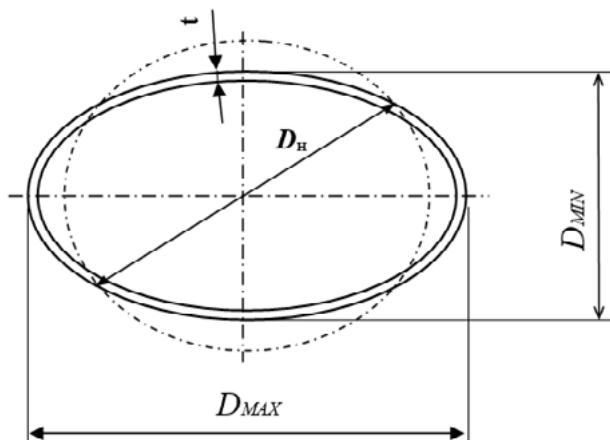


Рисунок 2. Измерение овальности трубы

секаемых коммуникаций либо увеличивать толщину стенки, что приводит к значительному увеличению стоимости объекта реконструкции или строительства магистрального трубопровода.

На участке магистрального трубопровода «Куйбышев-Унеча-2» перед проведением вскрытия участков трубопровода с дефектами был выполнен дополнительный этап гидроиспытания на давление 2,9 МПа и последующим повторным пропуском профилемера PRN. Отчет пропуска внутритрубного диагностического прибора показал снижение количества выявленных дефектов типа «овальность» с 420 штук до 127 штук.

В таблице 2 приведены значения овальности трубы от действия грунта засыпки на трубу 1020x12 мм сталь с классом прочности К56 в зависимости от внутреннего давления в трубе. Тип грунта засыпки принят «суглинок» со следующими характеристиками: плотность — 1900 кг/м<sup>3</sup>, угол внутреннего трения — 30°. Метод расчет давления грунта обратной засыпки трубы и гусеничной нагрузки (НГ-60) изложены в монографии Г. К. Клейна [3, с. 17] и пособии Л. И. Быкова, Ф. М. Мустафин [4, с. 532]. Расчет выполнен в ПП ANSYS.

Можно сделать вывод, что при создании внутреннего давления в трубе при проведении внутритрубной диагностики исключит появление «лож-

**Таблица 2. Значение овальности от действия грунта засыпки и гусеничной нагрузки (НГ-60) на трубу 1020x12 мм К56 в зависимости от внутреннего давления в трубе и глубины заложения**

Внутреннее давление, МПа	Минимальный внешний диаметр, мм	Максимальный внешний диаметр, мм	Овальность, %
при глубине заложения 5 м			
0	992,98	1046,18	5,22
0,2	999,19	1040,37	4,04
при глубине заложения 6 м			
0	987,38	1051,42	6,28
0,2	994,10	1044,35	4,84
при глубине заложения 7 м			
0	981,55	1056,80	7,38
0,4	996,34	1043,16	4,59
при глубине заложения 8 м			
0	975,22	1062,56	8,57
0,5	995,13	1044,34	4,83
при глубине заложения 9 м			
0	968,39	1068,70	9,85
0,7	996,00	1043,58	4,66

ных» дефектов типа «овализация» и необходимость проведения трудоемких работ по вскрытию трубопровода и проведения его дополнительного дефектоскопического контроля (рис. 3 и рис. 4).

Для выполнения данного требования необходимо включить в нормативно-техническую документацию СП 86.13330.2022 [5] на строительство новых и реконструкцию действующих магистральных трубопроводов требование по проведению внутритрубного диагностирования после завершения строительно-монтажных работ с созданием давления перед диагностическим прибором в зависимости от максимальной глубины заложения трубопровода и проверку трубы на отсутствие недопустимых деформаций по п. 12.4.2 СП 36.13330.2012 [6, с. 56] при заглублении трубопровода более 8 м.

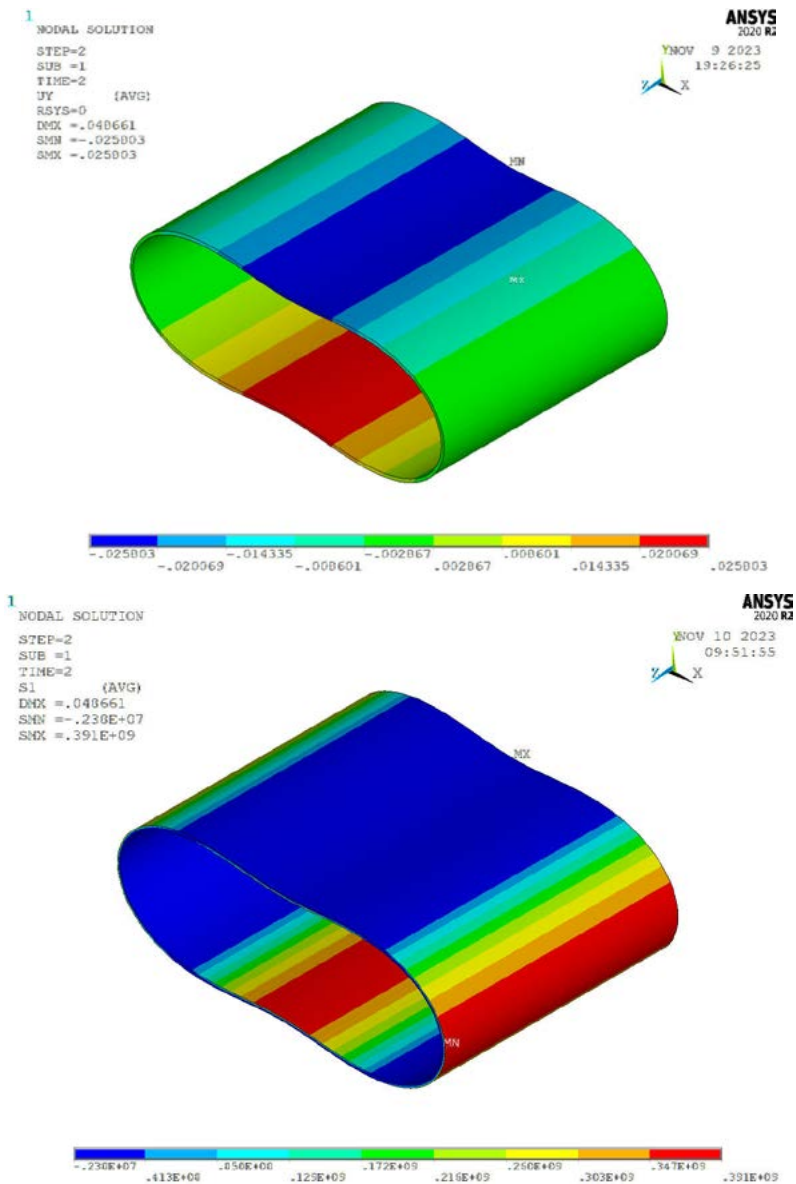


Рисунок 3. Результаты расчета в ПП ANSYS трубы 1020x12 K56 при заглублении 9 м без внутреннего давления

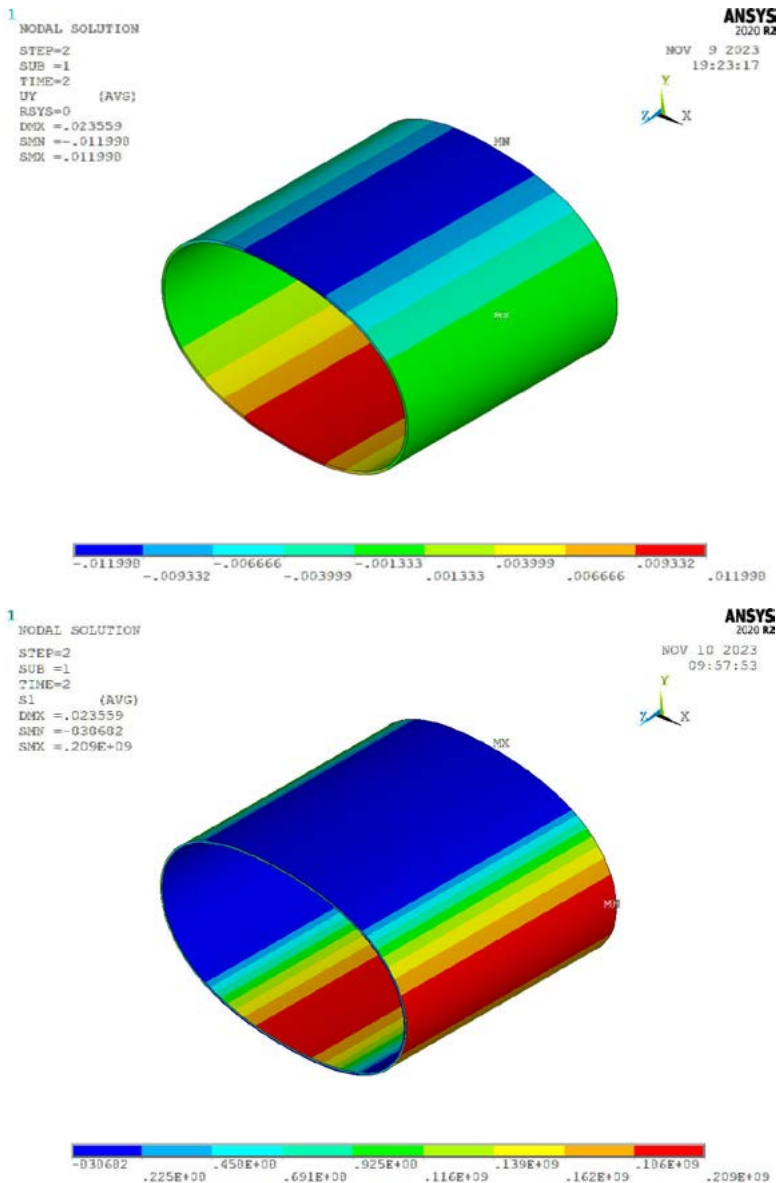


Рисунок 4. Результаты расчета в ПП ANSYS трубы 1020x12 K56 при заглублении 9 м, с внутренним давлением 0,7 МПа



### Список литературы

1. ГОСТ Р 55989–2014 Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования на давление свыше 10 МПа. Основные требования. М.: Стандартинформ, 2015. 106 с.
2. Камерштейн А.Г., Рождественский В.В., Ручимский М. Н. Расчет трубопроводов на прочность Справочная книга. М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1963. 375 с.
3. Клейн Г. К. Расчет труб, уложенных в земле подземных трубопроводов. М.: Госстройиздат, 1957. 197 с.
4. Быков Л.И., Мустафин Ф.М. и др. Типовые расчеты при сооружении и ремонте газонефтепроводов. С.П.: «Недра», 2006. 829 с.
5. СП 86.13330.2022 СНиП III-42–80\*Магистральные трубопроводы. М: Минстрой России, 2022. 173 с.
6. СП 36.13330.2022 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06–85. М: Гострой, ФАУ «ФЦС», 2012. 97 с.

УДК 629.33

## **Краткий анализ технических проблем и решений, с которыми сталкиваются современные бензиново-электрические гибридные автомобили**

**Лю Ибин**

бакалавр Белорусского национального технического университета

***Аннотация:** Статья проводит краткий анализ технических проблем, с которыми сталкиваются современные бензиново-электрические гибридные автомобили, а также рассматривает инновационные решения, предлагаемые индустрией. В фокусе внимания — технические вызовы, такие как управление двумя различными типами двигателей, увеличение эффективности энергопотребления и обеспечение надежной работы электрических компонентов. Работа предоставляет обзор актуальных достижений и выделяет направления для будущего совершенствования гибридных технологий в автомобильной индустрии. Исследование охватывает проблемы, такие как управление электроникой, эффективность энергопотребления, инфраструктурные вызовы и техническое обслуживание. Авторы также рассматривают инновации и технологические решения, направленные на устранение данных трудностей и совершенствование характеристик гибридных автомобилей.*

***Abstract:** The article provides a brief analysis of the technical challenges facing today's gasoline-electric hybrid vehicles and examines the innovative solutions offered by the industry. The focus is on technical challenges such as managing two different engine types, increasing energy efficiency and ensuring reliable operation of electrical components. The paper provides an overview of current advances and highlights areas for future improvement of hybrid technologies in the automotive industry. The study covers issues such as electronics management, energy efficiency, infrastructure challenges and maintenance. The authors also review innovations and technological solutions to address these challenges and improve hybrid vehicle performance.*

***Ключевые слова:** гибридные автомобили, технические проблемы, электрический двигатель, управление энергопотреблением, инновации в автомобильной индустрии.*

***Keywords:** hybrid cars, technical problems, electric motor, energy management, innovations in the automotive industry.*

Современные бензиново-электрические гибридные автомобили представляют собой перспективное направление в автомобильной индустрии, однако их эксплуатация сопряжена с несколькими техническими проблемами, требующими внимания и инновационных решений.

Одной из ключевых трудностей является эффективное управление электроникой, координирующей работу бензинового и электрического двигателей. Интеграция этих систем требует слаженности для обеспечения оптимальной энергоэффективности и максимальной производительности автомобиля. Технологии управления и синхронизации становятся ключевыми элементами в разрешении этой проблемы [1, с. 116].

Еще одним аспектом является эффективность энергопотребления. Оптимизация процесса зарядки и разрядки батарей, а также улучшение системы рекуперации энергии при торможении, направлены на увеличение дальности пробега и уменьшение зависимости от традиционного топлива.

Инфраструктурные вызовы также существенны. Расширение сети зарядных станций, улучшение технологий быстрой зарядки и создание более удобных условий для пользователей способствуют более широкому внедрению гибридных автомобилей.

Техническое обслуживание гибридных автомобилей также требует особого внимания. Обучение механиков, развитие специализированных сервисных центров и создание долговременных стратегий по обслуживанию становятся важными шагами в обеспечении надежности и долговечности гибридных автомобилей [2, с. 195].

Сегодняшний бензиново-электрический гибрид — это результат постоянных инженерных усовершенствований и стремления к устранению технических сложностей. Инновации в управлении, энергопотреблении, инфраструктуре и техническом обслуживании создают благоприятные условия для расширения рынка гибридных автомобилей и их успешного внедрения в повседневную жизнь.

Современные бензиново-электрические гибридные автомобили представляют собой инновационное решение для сокращения выбросов и повышения эффективности топливопотребления. Однако, несмотря на их популярность, существуют технические проблемы, с которыми сталкиваются производители и владельцы таких транспортных средств.

Одной из основных трудностей является управление электроникой, координация работы бензинового и электрического двигателей. Проблемы в этой области могут влиять на эффективность переключения между режимами и, таким образом, на общую экономию топлива [3, с. 446].

Эффективность энергопотребления представляет собой еще один ключевой аспект. Регулирование баланса между двумя видами двигателей и эффективное использование энергии при торможении требуют постоянного совершенствования технических решений.

Инфраструктурные вызовы включают в себя необходимость развития зарядных станций для электрических компонентов гибридных автомобилей. Большой проблемой становится нехватка унификации и стандартов, что может замедлить процесс внедрения бензиново-электрических гибридов.

Техническое обслуживание также требует особого внимания. Разнообразие компонентов и систем в гибридных автомобилях создает потребность в высококвалифицированном обслуживающем персонале и доступе к специализированным технологиям.

В целом, несмотря на технические проблемы, современные бензиново-электрические гибридные автомобили предоставляют важные решения для снижения воздействия на окружающую среду и оптимизации топливопотребления. Развитие инноваций в сфере управления электроникой, энергопотребления и инфраструктуры зарядных станций станет ключевым в дальнейшем совершенствовании этого типа транспортных средств.

В итоге краткого анализа технических проблем и решений, связанных с современными бензиново-электрическими гибридными автомобилями, становится ясным, что несмотря на значительные преимущества, такие транспортные средства сталкиваются с определенными вызовами.

Проблемы в управлении электроникой являются ключевыми, требуя постоянного совершенствования для обеспечения оптимального функционирования двух видов двигателей и максимизации эффективности топливопотребления. Этот аспект требует постоянного внимания инженеров и производителей в сфере автомобильной промышленности [5, с. 71].

Проблема энергопотребления также является вызовом, требующим балансирования между бензиновым и электрическим двигателями. Это важ-

но для обеспечения оптимальной эффективности при различных режимах движения и управления автомобилем.

Инфраструктурные аспекты, включая развитие сети зарядных станций, также представляют собой техническую проблему. Необходимость унификации и установления стандартов для зарядных устройств оказывается критической для плавного перехода к более широкому использованию бензиново-электрических гибридов.

Тем не менее, несмотря на эти вызовы, современные бензиново-электрические гибридные автомобили остаются перспективным решением в сфере экологически чистого транспорта. Развитие новых технологий и инновационных подходов в решении технических проблем будет ключевым фактором для улучшения их функциональности и увеличения популярности в будущем.

### **Список литературы**

1. Батьковский А.М., Кравчук П.В., Стяжкин А. Н. Оценка экономической эффективности производства высокотехнологичной продукции инновационно-активными предприятиями отрасли // Креативная экономика. 2019. № 1. С. 115–128.
2. Батьковский А.М., Фомина А. В. Эффективность внедрения результатов научно-исследовательских опытно-конструкторских работ на предприятиях инновационно-активных отраслей // Экономические исследования и разработки. 2019. № 5. С. 92–101.
3. Бутенко В. Беспилотники на бездорожье // VCG Review. 2017. № 42. С. 40.
4. Веревка Т. В. Оценка эффективности хозяйственно-финансовой деятельности и результативности управления высокотехнологичных предприятий // Российское предпринимательство. 2018. № 2. С. 445–456.
5. Кондратьев, В. Б. Трансформация глобальных цепочек стоимости: опыт трех отраслей / В. Б. Кондратьев, В. В. Попов, Г. В. Кедрова // Мировая экономика и международные отношения. 2020. Т. 64. № 3. С. 68–79.

УДК 533.664

## Проектирование конструкции орнитоптера

Ли Ифэн

бакалавр Белорусского национального технического университета

**Аннотация:** Статья посвящена проектированию конструкции орнитоптера — аппарата, моделирующего полет птиц. В работе рассматриваются основные аспекты создания легкого и эффективного механизма, включая параметры крыла, двигательную установку и системы управления. Исследование представляет собой важный вклад в область биомиметики и аэродинамики, открывая новые перспективы для развития технологий воздушной мобильности. В нем рассматриваются основные принципы, используемые при разработке крыла, двигателя и управляющих систем. Особое внимание уделяется инновационным подходам к созданию легкого и эффективного механизма для взлета, полета и посадки. Результаты исследования могут быть полезными для дальнейших технологических разработок в области биомиметики и авиации.

**Abstract:** The paper is devoted to the design of an ornithopter structure, a vehicle that simulates the flight of birds. The paper discusses the main aspects of creating a lightweight and efficient mechanism, including wing parameters, propulsion and control systems. The research represents an important contribution to the field of biomimetics and aerodynamics, opening new perspectives for the development of aerial mobility technologies. It reviews the basic principles used in the design of the wing, propulsion and control systems. Special attention is given to innovative approaches to develop a lightweight and efficient mechanism for takeoff, flight and landing. The results of the study may be useful for further technological developments in biomimetics and aviation.

**Ключевые слова:** орнитоптер, проектирование конструкции, крыло, двигатель, управление полетом, биомиметика, авиация, взлет и посадка, летательные аппараты, инновации в авиационной технике.

**Keywords:** ornithopter, structural design, wing, engine, flight control, biomimetics, aviation, takeoff and landing, aircraft, innovations in aviation technology

Проектирование конструкции орнитоптера представляет собой увлекательное исследование, направленное на создание летательного аппарата, способного имитировать природный полет птиц. Орнитоптеры отличаются от традиционных самолетов тем, что используют механизмы, при-

ближенные к механике крыльев птиц. Важной задачей в данном процессе является разработка легкой, но прочной конструкции, способной обеспечить эффективность полета [1, с. 340].

Одним из ключевых аспектов проектирования является оптимизация параметров крыла. Имитация птичьего крыла не только увеличивает аэродинамическую эффективность, но также позволяет орнитоптеру легче маневрировать в воздухе. Применение инновационных материалов, обеспечивающих оптимальное соотношение прочности и веса, становится неотъемлемой частью этого процесса.

Двигательная установка также играет ключевую роль в успешном функционировании орнитоптера. Эффективный механизм взлета и устойчивость в полете требуют тщательного подбора и интеграции моторов, обеспечивающих необходимую тягу и маневренность. Современные технологии в области электрических и гибридных двигателей открывают новые возможности для создания устойчивых и энергоэффективных систем [2, с. 560].

Системы управления представляют собой еще один важный аспект. Точное и надежное управление позволяет пилоту эффективно управлять орнитоптером, обеспечивая безопасность и точность в выполнении маневров. Развитие автоматизированных систем управления добавляет аспект интеллектуальности в концепцию орнитоптера.

Процесс проектирования конструкции орнитоптера представляет собой сложное взаимодействие множества инженерных дисциплин. Биомиметика и инновационные технологии становятся ключевыми факторами в создании летательных аппаратов, способных воплотить в себе красоту и эффективность природного полета [3, с. 48].

Проектирование конструкции орнитоптера представляет собой захватывающий процесс, требующий глубокого понимания аэродинамических принципов и биомиметических подходов. Орнитоптер, как аппарат, имитирующий полет птиц, предоставляет уникальную возможность инженерам создавать эффективные и легкие летательные аппараты, вдохновленные природой.

Одним из ключевых аспектов при проектировании орнитоптера является создание оптимальной конструкции крыла. Это включает в себя не

только определение формы и размеров, но и разработку механизмов, позволяющих эффективно имитировать движение крыльев птиц в воздухе. Инженеры стремятся создать крыло, обеспечивающее максимальную подъемную силу при минимальном весе [4, с. 305].

Двигательная установка также играет важную роль в конструкции орнитоптера. Инновационные подходы к созданию легких и мощных двигателей становятся ключевым фактором для обеспечения эффективного взлета и устойчивого полета. Развитие электрических и гибридных систем стало перспективным направлением в этой области [5, с. 72].

Системы управления орнитоптером также представляют собой вызов, поскольку необходимо точно моделировать и регулировать движения для обеспечения стабильного полета и маневрирования. Использование передовых технологий в авионике и автоматизации становится ключевым элементом успешной реализации этого аспекта проектирования.

В целом, проектирование конструкции орнитоптера объединяет в себе инженерные таланты, творческий подход и стремление к эффективным решениям. Этот процесс не только расширяет границы технологии воздушной мобильности, но и открывает новые перспективы для применения биомиметики в создании инновационных транспортных средств [6, с. 430].

Выводы, полученные из процесса проектирования конструкции орнитоптера, свидетельствуют о глубоком понимании и инновационном подходе к созданию летательных аппаратов, вдохновленных природой. Одним из ключевых аспектов является разработка оптимальной конфигурации крыла, где успешными являются решения, стремящиеся к максимальной подъемной силе при минимальном весе [7, с. 105].

Важным шагом в эволюции орнитоптера является интеграция легких и мощных двигателей. Подходы, основанные на электрических и гибридных системах, обеспечивают эффективный взлет и устойчивый полет, с учетом требований к минимизации вредного воздействия на окружающую среду.

Системы управления, использующие передовые технологии авионики и автоматизации, играют решающую роль в обеспечении стабильности и маневренности орнитоптера. Это подчеркивает необходимость интегра-



ции технологий, которые обеспечивают точное и гибкое управление в различных условиях полета [8, с. 24]

Орнитоптер, таким образом, становится примером успешного слияния инженерных достижений и биомиметических принципов [9, с. 29]. Прогресс в области конструкции орнитоптера открывает новые горизонты для развития технологий воздушной мобильности и внедрения инновационных подходов, которые могут иметь применение в широком спектре транспортных средств.

### Список литературы

1. Al-Busaidi A. M. Development of an educational environment for online control of a biped robot using MatLab and Arduino // 13th Intern. Workshop on Mechatronics (MECATRONICS) & 7th Europe-Asia Congress on and Research and Education in Mechatronics (REM). 2012. P. 337–344.
2. Ang K. H., Chong G., Li Y. PID control system analysis, design, and technology // IEEE Transact. on Control Systems Technology. 2005. Vol. 13, N 4. P. 559–576.
3. Corke P. Robotics, vision and control: fundamental algorithms in MATLAB. Springer, 2011. Vol. 73.
4. D'Ausilio A. Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment // Behavior research methods. 2012. Vol. 44, N 2. P. 305–313.
5. Flying insects and robots / Ed. by D. Floreano et al. Berlin: Springer, 2010.
6. Lopes R. V. et al. Modelling and constrained predictive control of a 3DOF helicopter // XVI Congresso Brasileiro de Automatica. Salvador, Brazil Duration, 3–6 Oct. 2006. P. 429–434.
7. Pfeiffer A. T. et al. Ornithopter flight simulation based on flexible multi-body dynamics // J. of Bionic Engineering. 2010. Vol. 7, N 1. P. 102–111.
8. Rose C., Fearing R. S. Flight simulation of an ornithopter: Master's thesis. EECS Department, University of California, Berkeley, May 2013 [Электронный ресурс]: <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2013/EECS-2013-60.html>.
9. Shyy W. et al. An introduction to flapping wing aerodynamics. Cambridge University Press, 2013. Vol. 37.

**Журнал «Научный аспект №11 2023»**

Эл. почта редакции: [public@na-journal.ru](mailto:public@na-journal.ru)

Подробнее на сайте: <https://na-journal.ru>