ISSN 2367-8658

Παράδειγμα

Парадигма

Paradigma

№11 2025
Часть 4
Технологии

Електронно
научно
списание

Парадигма
Електронно
научно списание

БРОЙ 11/2025
Часть 4

Издател:
"ЦЕНТЪР ЗА НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ИНФОРМАЦИЯ "ПАРАДИГМА"" ЕООД БЪЛГАРИЯ, гр. Варна 9002,
р-н Одесос, ул. Опълченска No 27
E-mail:
niiparadigma@gmail.com

www.paradigma.science

ISSN 2367-8658

Договоры на размещение:

Публикационная политика:

Редакционен съвет

Абакаров Д. К., к.с.н. (г. Брянск, Россия); **Анжиганова Л. В.,** д.ф.н., профессор (г. Абакан, Россия); **Антамошкин А. Н.**, д.т.н., профессор (г. Красноярск, Россия); **Арпентьева М. Р.,** д. психол. наук, доцент, член-корреспондент РАЕ академик МАЕ (г. Калуга, Россия); **Багоцкий С. В.**, к.б.н., доцент МИОО, ученый секретарь Московского общества испытателей природы (г. Москва, Россия); **Белобрыкина О. А.**, к.психол.н., доцент, академик Академии полярной медицины и экстремальной экологии человека (г. Новосибирск, Россия); **Блюмин С. Л.**, д.ф.-м.н., профессор (г. Липецк, Россия); **Бобкова Е. Ю.,** к.пед.н., доцент (г. Самара, Россия); **Валитова И. Е.**, к.пс.н., (г. Брест, Республика Беларусь); **Галкина А. И.,** с.н.с., начальник отдела ФГБНУ "ИУО РАО", руководитель Объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование», почетный работник науки и техники РФ (г. Москва, Россия); **Галчева К. Б.**, доцент, доктор по педагогика Пловдивски университет „П.Хилендарски" (г. Пловдив, Республика Болгария); **Заславский А. А.,** к. пед. наук, доцент, (г. Москва, Россия); **Заславская О. Ю.,** д.пед.н., профессор; **Землянухина Н. С.,** д.э.н., профессор (г. Саратов, Россия); **Землянухина С. Г.**, д.э.н., профессор (г. Саратов, Россия); **Ищанова Г. Т**., к.э.н., (г. Алматы, Казахстан); **Капрусова М. Н.**, к.ф.н., доцент (г. Борисоглебск, Россия); **Костригин А. А** (г. Нижний Новгород, Россия); **Кошенова М. И.**, к.пс.н., доцент, зав.каф. социальной психологии и виктимологии (г. Новосибирск, Россия); **Кравец О. Я.,** д.т.н., профессор (г. Воронеж, Россия); **Магсумов Т. А.**, к.и.н., доцент (г. Набережные Челны, Россия); **Няголова М. Д.**, канд. психол. наук, доцент истории психологии Великотърновского университета имени Святых Кирилла и Мефодия (г. Велико Търново, Республика Болгария); **Останков А. В.,** д.т.н., профессор (г. Воронеж, Россия); **Перова М. Б.**, д.э.н., профессор (г. Вологда, Россия); **Поляков Ю. А.**, к.т.н., доцент, (г. Москва, Россия); **Садчиков А. П.,** д.б.н., профессор Международного биотехнологического центра МГУ имени М.В.Ломоносова, вице-президент Московского общества испытателей природы (г. Москва, Россия); **Саенко Л. В.**, к.ю.н., доцент (г. Саратов, Россия); **Седов В. А.**, к.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой теоретических основ электротехники (г. Владивосток, Россия); **Седова Н. А.**, к.т.н., доцент (г. Владивосток, Россия); **Семенютина А. В.,** д.с.-х.н., зав. отделом биологии древесных растений ВНИАЛМИ (г. Волгоград, Россия); **Сидоровнин Г. П.,** директор Европейского Столыпинского инфоцентра (г. Майнц, Германия); **Соловьева А. Г.,** к.б.н., профессор РАЕ, с.н.с. (г. Нижний Новгород, Россия); **Суркова И. Ю.,** д. социол. н., доцент (г. Саратов, Россия); **Терехова А. А.** к.пед.н. (г. Самара, Россия), **Трендафилова А. Т.**, ассистент Факултета общественного здоровья Медицинский университет-София (г. София, республика Болгария); **Фурсов А. Л.,** к.э.н., директор научно-исследовательского института «Парадигма» (г. Саратов, Россия); **Хусяинов Т. М** (г. Нижний Новгород, Россия)

Главен редактор
Андрей Фурсов

УДК 681.5:62-523.8

Сокерин К. В.
Сыктывкарский лесной институт (филиал Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С. М. Кирова), Сыктывкар, Россия

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация: В статье рассматриваются перспективы интеграции пьезоэлектрических датчиков в современные автоматизированные системы управления (АСУ). Анализируются фундаментальные физические принципы пьезоэлектрического эффекта, лежащие в основе работы данных сенсоров. Особое внимание уделяется ключевым преимуществам пьезодатчиков, таким как высокая чувствительность, широкий динамический диапазон, автономность и надежность, которые делают их идеальными для задач мониторинга, диагностики и управления в условиях реального времени. Рассмотрены конкретные направления применения в промышленности, энергетике, авиакосмической отрасли и «умных» структурах. Выявлены основные challenges, связанные с температурной чувствительностью и необходимостью обработки слабых сигналов. Сделан вывод о том, что развитие технологий обработки сигналов и микроэлектромеханических систем (МЭМС) открывает новые горизонты для массового внедрения пьезоэлектрических датчиков, способствуя созданию более интеллектуальных, эффективных и автономных АСУ.

Ключевые слова: пьезоэлектрический датчик, автоматизированная система управления (АСУ), мониторинг состояния, вибрация, МЭМС (микроэлектромеханические системы), интеллектуальное управление, энергонезависимый сенсор.

Современные автоматизированные системы управления (АСУ) предъявляют все более высокие требования к своим сенсорным подсистемам. Необходимость в высокоточном, надежном и оперативном получении информации о состоянии управляемого объекта является критически важной для реализации алгоритмов адаптивного и предиктивного управления. Среди множества типов датчиков пьезоэлектрические сенсоры занимают особое место благодаря уникальному сочетанию эксплуатационных характеристик.

Пьезоэлектрический эффект, открытый братьями Кюри в 1880 году, заключается в возникновении электрического заряда на поверхности некоторых материалов (пьезоэлектриков) при механической деформации и, наоборот, деформации под действием приложенного электрического поля (обратный пьезоэффект). Это свойство позволяет использовать пьезоматериалы как для генерации сигналов (датчики), так и для совершения механической работы (актуаторы).

Цель данной статьи – провести комплексный анализ перспектив использования пьезоэлектрических датчиков в АСУ, оценить их преимущества и ограничения, а также определить наиболее актуальные направления для дальнейших исследований и внедрения.

В основе работы пьезоэлектрического датчика лежит прямой пьезоэлектрический эффект. При воздействии внешней механической силы (давления, ускорения, вибрации) на кристаллическую решетку пьезоэлектрика происходит смещение электрических диполей, что приводит к появлению на его электродах электрического заряда, пропорционального величине приложенного усилия.

Основными материалами, используемыми в промышленных пьезодатчиках, являются:

- Пьезокерамика (например, цирконат-титанат свинца, PZT): Обладает высокой чувствительностью и стабильностью, широко используется в датчиках давления и акселерометрах.
- Пьезополимеры (например, поливинилиденфторид, PVDF): Гибкие, обладают высокой ударной вязкостью, применимы для измерений в сложных конструкциях.
- Монокристаллы (например, кварц, ниобат лития): Отличаются высокой стабильностью и низкой гистерезисностью.

Выходной сигнал пьезодатчика по своей природе является генераторным – он сам генерирует электрический заряд, что исключает необходимость во внешнем источнике питания для первичного преобразования, что является ключевым преимуществом для автономных систем. [1]

Устройство пьезоэлектрического датчика, показанного на рисунке 1, определяется его целевым назначением (измерение силы, давления, ускорения), однако общая структурная схема и ключевые компоненты остаются универсальными. Конструкция должна обеспечивать эффективную передачу измеряемого механического воздействия на пьезоэлемент, минимизацию паразитных влияний и защиту чувствительного элемента от окружающей среды.

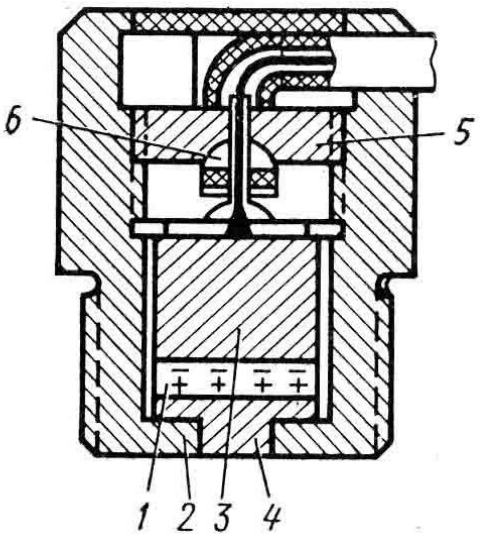


Рисунок 1 - Устройство пьезоэлектрического датчика.

Основные компоненты датчика

1. Чувствительный элемент (Пьезоэлемент):

Это сердце датчика. Представляет собой одну или несколько пластин (пластин) из пьезоэлектрического материала (PZT, кварц и т.д.).

Для увеличения выходного сигнала и емкости часто используются пьезоэлектрические стопки (пакеты), где несколько пластин соединены механически последовательно (для суммирования деформации), а электрически — параллельно (для суммирования заряда). Между пластинами проложены электроды.

Пьезоэлементы могут быть ориентированы для работы на сжатие, растяжение, изгиб или сдвиг.

2. Корпус (Housing):

Герметичный металлический (обычно нержавеющая сталь) корпус, защищающий внутренние компоненты от влаги, пыли, агрессивных сред и электромагнитных помех.

Обеспечивает удобный монтаж датчика (например, с помощью резьбового шпинделя).

3. Масса (Инерционный элемент):

Критически важный компонент для акселерометров. Это массивный груз (обычно из вольфрамового сплава), жестко закрепленный на пьезоэлементе. При ускорении корпуса датчика инерционная масса создает силу, действующую на пьезоэлемент и вызывающую его деформацию. Сила пропорциональна ускорению (по второму закону Ньютона).

4. Подпятник - деталь (обычно из твердого материала вроде сапфира или стали), которая устанавливается между корпусом датчика и пьезоэлементом.

Назначение:

- Передает усилие строго по центру. Гарантирует, что сила (давление, вибрация) давит прямо на пьезоэлемент, а не под углом. Это как направлять удар строго в цель, чтобы не было перекоса.
- Убирает "лишнее" трение и заклинивание. Благодаря своей форме (часто сферической) он компенсирует микроскопические перекосы при монтаже и работе, не давая корпусу датчика "заедать" и создавать погрешность.
- Повышает точность и защищает. Без него даже небольшой перекос исказил бы показания и мог бы со временем повредить хрупкий пьезокристалл.

5. Преднатяжная втулка (Base Strain):

Важный элемент для датчиков силы и акселерометров. Центральный стержень с резьбой, который стягивает весь механический узел (массу, пьезоэлемент) с большим предварительным усилием.

Назначение:

- Обеспечивает жесткий механический контакт между всеми компонентами, что необходимо для передачи высокочастотных вибраций без потерь.
- Переводит пьезоэлемент в режим постоянного сжатия, что позволяет ему воспринимать знакопеременные растягивающие усилия (которые сами по себе могли бы повредить хрупкую керамику).
- Защищает пьезоэлемент от ударов и перегрузок.

6. Электроды:

Тонкие металлические слои (обычно серебро, никель), нанесенные на рабочие поверхности пьезоэлемента. Их задача — собрать генерируемый электрический заряд и передать его на выходные клеммы.

В стопках электроды также обеспечивают электрическое соединение между пластинами.

7. Выходной разъем:

Как правило, стандартизированный разъем (например, герметичный 10-32 UNF), к которому подключается экранированный кабель для передачи сигнала на измерительную аппаратуру.

Ключевые преимущества пьезоэлектрических датчиков для АСУ

Интеграция пьезодатчиков в АСУ обеспечивает ряд стратегических преимуществ:

1. Высокая чувствительность и широкий динамический диапазон: Способность регистрировать как малые, так и значительные механические воздействия в широком частотном диапазоне (от долей Гц до сотен кГц).

2. Жесткость и высокая собственная частота: Позволяют точно измерять быстропротекающие процессы (удар, вибрация на высоких частотах) без искажений.

3. Энергонезависимость: Способность генерировать сигнал без внешнего питания делает их идеальными для систем удаленного мониторинга и для использования в качестве «энергодобывающих» (energy harvesting) элементов.

4. Надежность и долговечность: Отсутствие движущихся частей и твердотельная природа обеспечивают устойчивость к перегрузкам, вибрациям и агрессивным средам (при соответствующей герметизации).

5. Широкий диапазон рабочих температур: Современные материалы позволяют работать в экстремальных условиях.

Давайте рассмотрим несколько примеров применения пьезоэлектрических датчиков

1. Системы активного виброподавления

Используя комбинацию пьезоэлектрических датчиков (для считывания вибрации) и актуаторов (на основе обратного пьезоэффекта для генерации противофазных колебаний), АСУ может активно гасить нежелательные вибрации в конструкциях летательных аппаратов, высокоточных станках и строительных сооружениях.[2]

2. Автоматизированный контроль технологических процессов

Датчики давления и силы на основе пьезоэффекта используются для:

- Контроля давления в гидравлических и пневматических системах.
- Мониторинга усилия в процессах прессования, штамповки и механической обработки.
- Дозирования и контроля расхода жидкостей и газов.

«Умные» материалы и конструкции (Structural Health Monitoring)

Встраивание пьезодатчиков в композитные материалы позволяет создавать структуры с самодиагностикой. Такая АСУ может непрерывно оценивать целостность корпуса самолета, лопатки турбины или мостовой фермы, обнаруживая усталостные трещины или внутренние повреждения.

Энергонезависимые сенсорные сети (Energy Harvesting)

Пьезоэлектрические элементы могут преобразовывать паразитную механическую энергию (вибрацию от работающих механизмов, деформацию покрышек) в электрическую. Это открывает путь к созданию полностью автономных беспроводных сенсорных узлов для распределенных АСУ, не требующих замены батарей.[3]

Но несмотря на преимущества, существуют и проблемы, требующие решения:

- Температурная чувствительность: Пьезоэлектрические материалы обладают температурным коэффициентом чувствительности, что требует температурной компенсации в измерительных цепях.

- Утечка заряда: Поскольку пьезодатчик генерирует заряд, он не может измерять статические или медленно меняющиеся воздействия без применения специализированных усилителей с чрезвычайно высоким входным сопротивлением.
- Чувствительность к поперечным воздействиям: Может потребоваться конструктивная защита от воздействий, не совпадающих с осью главной чувствительности.
- Стоимость высококачественных материалов: PZT-керамика и монокристаллы могут быть дороги, хотя технология МЭМС активно снижает эту стоимость.[4]

На основе представленной информации делаются выводы. Пьезоэлектрические датчики представляют собой высокоперспективный элементную базу для развития современных и создания будущих АСУ. Их уникальные свойства – высокая динамичность, автономность и надежность – идеально соответствуют задачам интеллектуального управления, мониторинга и диагностики.

Основные перспективы развития связаны с:

1. Миниатюризацией и развитием МЭМС-технологий: Создание дешевых, массовых пьезоэлектрических сенсоров для интернета вещей (IoT).
2. Разработкой новых материалов: Исследование бессвинцовой пьезокерамики и композитных материалов с улучшенными свойствами.
3. Интеграцией с системами искусственного интеллекта (ИИ): Использование алгоритмов машинного обучения для более точной интерпретации сложных сигналов от пьезодатчиков и прогнозирования отказов.
4. Совершенствованием энергодобывающих технологий: Повышение эффективности преобразования энергии для полной автономии сенсорных сетей.

Таким образом, дальнейшая интеграция пьезоэлектрических датчиков в АСУ будет способствовать созданию более безопасных, экономичных и автономных технологических систем нового поколения.

Список литературы:

1. Афанасьев, Ю.Н. Пьезоэлектрические преобразователи в автоматике / Ю.Н. Афанасьев. – М.: Энергия, 2019. – 256 с.
2. Сапожников, В.В. Автоматизированные системы управления технологическими процессами / В. В. Сапожников, А. В. Сапожников. – СПб.: Лань, 2020. – 352 с.
3. Anton, S. R., & Sodano, H. A. A review of power harvesting using piezoelectric materials (2003–2006) // Smart Materials and Structures. – 2007. – Vol. 16, № 3. – P. R1–R21.
4. Roundy, S., Wright, P. K., & Rabaey, J. A study of low level vibrations as a power source for wireless sensor nodes // Computer Communications. – 2003. – Vol. 26, № 11. – P. 1131–1144.

УДК 519.672

Шпаньков А. В., Крюков Н. Ю., Огнев К. А.
Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург, Россия

МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Аннотация: Статья посвящена анализу применения методов машинного обучения в задачах математического моделирования. Рассматриваются математические основы ключевых алгоритмов, приводятся количественные показатели их эффективности. Основное внимание уделяется синергии традиционных подходов и моделей на основе данных, а также созданию гибридных интеллектуальных систем.
В работе особое внимание уделяется практическому применению гибридных моделей, демонстрируется их эффективность на примере решения задач классификации технического состояния оборудования. Показаны преимущества интеграции классических методов моделирования с подходами машинного обучения, что позволяет достигать высокой точности прогнозирования даже при ограниченном объёме данных.
Ключевые слова: математическое моделирование, машинное обучение, анализ данных, нейронные сети, верификация моделей, гибридные модели, численные методы.

Современный этап развития науки и техники

Сегодняшняя эпоха характеризуется взрывным ростом объемов данных и значительным увеличением сложности изучаемых систем. Накопление данных достигло колоссальных масштабов, и их обработка стала критически важной задачей для множества отраслей, включая промышленность, экономику, здравоохранение и многие другие сферы. Традиционные методы анализа данных часто оказываются недостаточными для эффективной обработки и осмысления всей доступной информации. В результате возникает необходимость перехода к новым инструментам и технологиям, способным справиться с этими вызовами.

Одной из ключевых тенденций современного этапа развития науки и техники является активное внедрение методов машинного обучения. Машинное обучение — это подмножество искусственного интеллекта, направленное на автоматическое улучшение производительности моделей путем изучения данных. Вместо ручного написания строгих правил и инструкций разработчики создают алгоритмы, способные извлекать знания из собранных данных и адаптироваться к меняющимся условиям. Таким образом, процессы становятся значительно быстрее и эффективнее, что способствует улучшению принятия решений и увеличению продуктивности труда.

Эта новая фаза развития математического моделирования связана с интеграцией классических методов и современных техник машинного обучения. Ранее большинство моделей строилось исключительно на основе физических законов и аналитических формул. Теперь же всё чаще используется комбинация теоретических представлений и анализа эмпирических данных. Такая стратегия обеспечивает гибкость и универсальность, необходимые для описания сложных явлений, характеризующихся нелинейностью, стохастичностью и множественностью факторов влияния.

Важно отметить, что успешное применение методов машинного обучения возможно лишь при наличии значительных ресурсов для обработки данных. Современные суперкомпьютеры, использующие графические ускорители (GPU), позволяют ускорить работу алгоритмов и сокращают время обучения моделей с месяцев до дней или даже часов. Параллельно развиваются специализированные библиотеки и фреймворки, облегчающие проведение численного эксперимента и улучшающие общую производительность. Всё это создает основу для построения моделей, превосходящих по точности классические методы.

Основы методов машинного обучения

Методы машинного обучения основаны на принципах статистического вывода и теории вероятности. Основная цель этих методов — выявление структур и зависимостей внутри данных, позволяющих делать прогнозы и классифицировать объекты. Среди популярных алгоритмов выделяются:

Метод опорных векторов (Support Vector Machines, SVM). Этот алгоритм находит оптимальный разделяющий барьер между классами объектов. SVM популярен своими высокими показателями в задачах бинарной классификации и хорошо работает с небольшими объемами данных.

Деревья решений. Деревья решений представляют собой иерархическую структуру, используемую для выбора оптимального пути классификации на основе последовательных проверок признаков. Простота понимания и визуализации делают этот метод привлекательным для инженеров и исследователей.

Нейронные сети. Многослойные нейронные сети, вдохновленные работой биологического мозга, способны аппроксимировать любые функции и справляться с высокоразмерными задачами. Глубокие нейронные сети используют большое количество слоев и узлов, что позволяет лучше представлять сложные структуры данных.

Выбор конкретного алгоритма зависит от ряда факторов, таких как характер и объем данных, уровень требуемой точности и скорость исполнения. Важнейшим аспектом при разработке моделей является подготовка исходных данных, включая удаление шумов, преобразование формата и выбор значимых

признаков (feature engineering). Без качественной предварительной обработки даже лучшие алгоритмы будут давать низкое качество прогнозов.

Практические приложения методов машинного обучения

Применение методов машинного обучения демонстрирует значительное преимущество над традиционными моделями в ряде областей:

Диагностика неисправностей технических агрегатов. Модели машинного обучения способны выявлять ранние признаки износа и отказов оборудования, что снижает затраты на ремонт и увеличивает надежность производства. По сравнению с традиционными диагностическими инструментами, методы машинного обучения обеспечивают более точную оценку текущего состояния устройства и позволяют заранее планировать профилактические мероприятия.

Финансовое прогнозирование. Методы машинного обучения нашли широкое распространение в финансах, где необходима высокая точность прогнозов рыночных изменений. Предсказательные модели позволяют инвесторам оперативно реагировать на колебания рынка и минимизировать риски потерь капитала.

Медицинская диагностика. Нейросети и другие алгоритмы помогают врачам ставить точные диагнозы на основе анализа клинических данных и изображений. Раннее выявление заболеваний, таких как рак легких или сердечно-сосудистые патологии, помогает спасти тысячи жизней ежегодно.

Энергетика и экология. Прогнозирование потребления энергии, оценка экологических рисков и управление ресурсами требуют точного учета огромного числа переменных. Методы машинного обучения позволяют интегрировать множество факторов и выдавать надежные рекомендации относительно рационального распределения энергоресурсов и охраны окружающей среды

Гибридные модели и их потенциал

Одним из наиболее интересных направлений современной науки является разработка гибридных моделей, сочетающих элементы традиционной физики и машинного обучения. Эти модели называются "физически-информированными нейронными сетями" (Physics-Informed Neural Networks, PINNs). Суть их состоит в том, что вместе с данными о конкретном процессе используются известные физические законы, выражаемые в форме дифференциальных уравнений. Такого рода комбинации повышают точность прогнозов и снижают потребность в большом объеме тренировочных данных.

Традиционное математическое моделирование обладает рядом преимуществ, таких как четкая физическая интерпретация и прозрачность выводов. Оно базируется на фундаментальных законах природы и позволяет ясно видеть причины происходящего. Однако в реальной практике многие системы характеризуются большой степенью неопределенности и

случайности, которую трудно учесть с помощью классических методов. Поэтому включение элементов машинного обучения, способных выявлять скрытые закономерности, оказывается полезным дополнением.

Кроме того, такое комбинирование методов уменьшает риск возникновения ошибок, вызванных недостатком данных или неправильной постановкой задачи. Когда известно физическое поведение системы, машина сможет точнее определить недостающие факторы и снизить влияние шума в данных. Особенно значимы гибридные модели в задачах медицинской диагностики, где цена ошибки высока, и инженеры хотят повысить уверенность в результатах своих моделей.

Ограничения и вызовы

Хотя методы машинного обучения демонстрируют впечатляющие результаты, их применение сталкивается с определенными трудностями и ограничениями:

Качество данных. Недостаточная чистота и полнота данных сильно влияют на точность полученных моделей. Многие исследователи отмечают, что около 80% усилий уходит именно на подготовку и предварительную обработку данных. Удаление выбросов, коррекция пропущенных значений и стандартизация данных — важные этапы, влияющие на конечный результат.

Проблема объяснения результатов. Некоторые модели, такие как глубокие нейронные сети, относятся к категории "черных ящиков". То есть, хотя они могут давать хорошие прогнозы, объяснить внутреннюю логику их работы бывает затруднительно. Такое положение вещей затрудняет принятие решений в чувствительных областях, где необходимы прозрачные и легко объясняемые выводы.

Необходимость мощных вычислительных ресурсов. Обучение сложных моделей требует серьезных вычислительных мощностей, что ограничивает доступность этих методов для небольших организаций и исследовательских групп. Хотя стоимость вычислений постепенно снижается, инвестиции в инфраструктуру остаются существенным препятствием для повсеместного распространения технологий машинного обучения.

Обобщаемость и устойчивость. Одна из центральных задач — обеспечение стабильной работы модели вне зависимости от типа и объема данных. Часто случается, что модель показывает отличные результаты на одном наборе данных, но резко ухудшается на другом. Устойчивость модели должна проверяться на разнородных наборах данных, что добавляет сложность процессу тестирования и калибровки.

Заключение

Интеграция методов машинного обучения в математическое моделирование представляет собой важный этап эволюции науки и техники. Новые инструменты позволяют исследователям глубже проникнуть в механизмы функционирования сложных систем, сделать прогнозы более

точными и надежными. Несмотря на имеющиеся недостатки и вызовы, прогресс в этой области продолжается быстрыми темпами, обещая революционизировать наши представления о возможностях моделирования и анализа данных.

Гибридные модели, соединяющие лучшее из физического моделирования и машинного обучения, доказывают свою значимость в различных отраслях. Вместе с расширением доступности вычислительных ресурсов и совершенствованием методик обработки данных мы можем ожидать дальнейшего укрепления позиций методов машинного обучения в повседневной научной и производственной практике. Будущие открытия в этой области позволят нам преодолеть существующие ограничения и выйти на новый уровень понимания окружающего мира.

Список литературы:

1. Ильин, В.П. Вызовы машинного обучения и математическое моделирование / В. П. Ильин // Вестник Российской академии наук. -- 2025. -- № 3. -- С. 15-24.
2. Кондратов Д.В., Володин Д.Н. Математическое моделирование алгоритмов машинного обучения // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. 2023. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-algoritmov-mashinnogo-obucheniya (дата обращения: 09.10.2025).
3. Пронин Д., Клепиков П. Исследование эффективности различных методов машинного обучения // Труды семинара по геометрии и математическому моделированию, 2024, № 10. С. 11-17. URL: URL: https://journal.asu.ru/psgmm/article/view/16414 (дата обращения: 09.10.2025).
4. Санталов, А.А. Анализ математических моделей при построении нейронной сети для оценки работоспособности агрегата / А. А. Санталов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. -- 2021. -- Т. 23, № 1(99). -- С. 84-90.
5. Яхшибаев Д.С., & Шарипов Э.Ж. (2025). Методы применения искусственного интеллекта в математическом моделировании. *PEDAGOGS*, *87*(1), 12-16. URL: https://scientific-jl.com/ped/article/view/25770 (дата обращения: 09.10.2025).
6. Comparison of conventional mathematical model and machine learning model based on recent advances in mathematical models for predicting diabetic kidney disease URL: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/20552076241238093?icid=int.sj-abstract.similar-articles.3 (дата обращения: 09.10.2025).

УДК 621.822.5

Абзалов Р. Р., Фаизов М. Р.
Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева — КАИ, Казань, Россия

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПРИ ЦИКЛИЧНОМ НАГРУЖЕНИИ

Аннотация. В статье рассматриваются современные методики расчета подшипников качения на долговечность. Особое внимание уделено учету переменного режима нагрузки на подшипник, характерного для реальных эксплуатационных условий машин и механизмов. Проведен сравнительный анализ классического метода расчета по среднему эквивалентному значению нагрузки на подшипник и метода расчета включающий в расчет модифицированный ресурс. На практическом примере расчета опор вала редуктора показаны этапы определения динамической грузоподъемности и скорректированного расчетного срока службы с учетом условий смазки, температуры и надежности. Результаты работы позволяют повысить точность проектирования подшипниковых узлов и обоснованно выбирать подшипники, обеспечивающие требуемый ресурс при минимальных материальных затратах.
Ключевые слова: подшипник качения, долговечность, ресурс, динамическая грузоподъемность, эквивалентная нагрузка, срок службы, переменное нагружение, коэффициент надежности, смазка, редуктор.

1. Введение

Подшипники качения являются ключевыми элементами большинства вращающихся механизмов. Их надежность и долговечность в значительной степени определяют ресурс всего узла или машины в целом. Несмотря на высокую степень стандартизации и наличие развитых методик расчета, задача точного прогнозирования срока службы подшипника остается актуальной. Это связано с необходимостью создания конкурентоспособных, легких и компактных конструкций без потери надежности.

Целью данной работы является систематизация и углубленное изложение методики расчета подшипников качения на долговечность в условиях переменного режима нагрузки на подшипник.

Задачи исследования:

- Рассмотреть базовую зависимость для расчета срока службы.
- Проанализировать методы приведения переменных нагрузок к эквивалентным.
- Показать влияние коэффициентов условий работы (надежность, смазка, материал) на расчетный ресурс.
- Продемонстрировать применение методики на практическом примере.

2. Основная часть

2.1. Базовая расчетная зависимость

Основой для расчета долговечности является формула, установленная международными стандартами (ISO 281:2007) и отечественными ГОСТами (например: ГОСТ 18855 –2013 и ГОСТ 18855 –2024):

$$L_{10} = (\frac{C_r}{P_r})^p$$

где:

L_{10} – расчетный срок службы (в миллионах оборотов), который достигает или превышает 90% из группы идентичных подшипников. Это "номинальная долговечность".

C_r – базовая динамическая грузоподъемность [кН] (указывается в каталогах производителя).

P_r – эквивалентная динамическая нагрузка [кН].

p – степенной показатель: $p = 3$ для шарикоподшипников, $p = \frac{10}{3}$ для роликоподшипников.

2.2. Определение эквивалентной динамической нагрузки P.

Эквивалентная нагрузка — это постоянная нагрузка, которая оказывает на подшипник такое же влияние на долговечность, как и реальные условия нагрузки при работе в механизме.

$$P = (X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a) \cdot K_\sigma \cdot K_T$$

где:

F_r, F_a – радиальная и осевая нагрузки [кН].

X, Y – коэффициенты радиальной и осевой нагрузок (зависят от типа подшипника и соотношения $\frac{Fa}{F_r}$).

V – коэффициент вращения ($V = 1$ при вращении внутреннего кольца).

K_σ – коэффициент безопасности (учитывает динамический характер внешней нагрузки).

K_T – температурный коэффициент (при t < 100°C, $K_T = 1$) (Таблица 1).

Таблица 1. Коэффициенты температурного баланса

Рабочая температура, °C	**Температурный коэффициент, K_T**	**Влияние на смазку**	**Рекомендации**
До 65	1,0	Оптимальные условия	Стандартная смазка
70-100	1,0	Увеличение частоты смазывания	Контроль температуры
125	1,05	Деградация смазки	Высокотемпературная смазка
150	1,1	Ускоренное старение	Специальные материалы
175	1,15	Критическое старение	Усиленный контроль
200	1,25	Предел для стандартных подшипников	Специализированные решения
225	1,35	Экстремальные условия	Специальные материалы и технологии

2.3. Расчет при переменном режиме нагрузки на детали подшипника

На практике нагрузка и частота вращения часто меняются. В этом случае расчет ведется в два этапа:

Определение средней эквивалентной нагрузки P_m:

$$P_m = \left(\frac{\sum(P_i{}^p \cdot n_i \cdot t_i)}{n_m}\right)^{\frac{1}{p}}$$

где:

P_i – эквивалентная нагрузка на определенном i- режиме работы подшипника.

n_i – частота вращения на определенном i- режиме работы подшипника.

t_i – относительное время работы определенном i- режиме работы подшипника.

n_m – Определение среднего числа оборотов:

$$n_m = \sum(n_i \cdot t_i)$$

Итоговый срок службы в миллионах оборотов L_h:

$$L_h = \frac{10^6}{(60 \cdot n_m)} \cdot (\frac{C_r}{P_m})^p$$

2.4. Учет реальных условий работы. Скорректированный срок службы.

Современная методика (ISO 281:2007) позволяет более точно оценить ресурс с помощью скорректированного расчетного срока службы:

$$L_{nm} = a_1 \cdot a_{ISO} \cdot L_{10}$$

где:

a_1 – коэффициент надежности. Учитывает вероятность безотказной работы, отличную от 90% (Таблица 2).

Таблица 2. Коэффициенты надежности

Надежность, %	**Коэффициент, a_1**	**Примечание**
90	1,0	Стандартные применения
95	0,62	Ответственные узлы
96	0,53	Критически важное оборудование
97	0,44	Системы безопасности
98	0,33	Особо ответственные применения
99	0,21	Максимальная надежность

a_{ISO} – комплексный коэффициент, учитывающий условия смазки (вязкость масла), загрязненность рабочей среды и свойства материала подшипника (Таблица 3).

Таблица 3. Коэффициент условия смазки

Условия эксплуатации	**Коэффициент, a_{ISO}**	**Характеристика**
Идеальные условия	2,0-5,0	Чистая среда, оптимальная смазка
Хорошие условия	1,2-2,0	Нормальная смазка, минимальные загрязнения
Нормальные условия	1,0	Стандартные промышленные условия
Неблагоприятные условия	0,5-1,0	Загрязнения, недостаточная смазка
Тяжелые условия	0,1-0,5	Сильные загрязнения, плохая смазка

3. Практический пример расчета

Задача: Рассчитать срок службы радиального шарикоподшипника (№ 6308, $C_r = 41$ кН) в опоре вала редуктора.

Исходные данные:

- Режим 1: $F_{r1} = 2.5$ кН, $n_1 = 1500$ об/мин, $t_1 = 0.3$ (30% времени).
- Режим 2: $F_{r2} = 1.0$ кН, $n_2 = 3000$ об/мин, $t_2 = 0.7$ (70% времени).
- Осевая нагрузка отсутствует ($F_a = 0$). $V = 1$, $K_\sigma = 1.3$, $K_T = 1$.
- Требуемая надежность – 95%.

Решение:

Эквивалентная нагрузка для каждого режима:

$$P1 = F_{r1} \cdot V \cdot K_{\sigma} = 2.5 \cdot 1 \cdot 1.3 = 3.25 \text{ кН}$$
$$P2 = F_{r2} \cdot V \cdot K_{\sigma} = 1.0 \cdot 1 \cdot 1.3 = 1.3 \text{ кН}$$

Средняя эквивалентная нагрузка ($p = 3$):

$$P_m = \left(\frac{\sum\left(P_i{}^3 \cdot n_i \cdot t_i\right)}{n_m}\right)^{\frac{1}{3}}$$
$$n_m = \sum(n_i \cdot t_i)$$
$$n_m = 1500 \cdot 0.3 + 3000 \cdot 0.7 = 2550 \text{ об/мин}$$
$$P_m = \left(\frac{3{,}25^3 \cdot 1500 \cdot 0{,}3 + 1{,}3^3 \cdot 3000 \cdot 0{,}7}{2550}\right)^{\frac{1}{3}} \approx 1.92 \text{ кН}$$

Номинальная долговечность в часах:

$$L_h = \frac{10^6}{(60 \cdot n_m)} \cdot (\frac{C_r}{P_m})^p = \frac{10^6}{(60 \cdot 2550)} \cdot (\frac{41}{1{,}92})^3 = 12350 \text{ часов}$$

Скорректированная долговечность (принимаем $a_{ISO} = 1$ для условно нормальных условий):

$$L_{nm} = a_1 \cdot a_{ISO} \cdot L_{10} = 0{,}65 \cdot 1 \cdot 12350 = 8027{,}5 \text{ часов}$$

Однако если нам удастся повысить условия качества смазывания деталей подшипника, то соответственно и вырастет значение a_{ISO}. Из таблицы 3 коэффициента условий смазки видно, на какую величину оно возрастает при улучшении условий смазывания. Под улучшением условий смазывания понимается установка полноценной системы смазки полнопоточного типа с фильтрующим элементом. Благодаря таким действиям можно довольно просто повысить срок службы подшипника за счет усложнения конструкции машины. Более простой метод повышения срока службы подшипника без затрат на сложную систему смазки это сменить серию грузоподъемности подшипника.

Вывод по примеру: Расчет показывает, что с учетом переменного режима и надежности 95% ресурс подшипника составит около 8028 часов.

4. Заключение

В статье детально изложена методика расчета подшипников качения на долговечность. Показано, что для получения достоверных результатов необходимо учитывать не только статические нагрузки, но и переменный характер нагрузки подшипника, а также реальные условия эксплуатации (надежность, температура, смазка). Использование метода среднего

эквивалентного нахождения нагрузки на подшипник и скорректированного срока службы позволяет инженеру более обоснованно подходить к выбору подшипника, находить компромисс между габаритами, стоимостью и требуемым ресурсом узла. Приведенный практический пример наглядно демонстрирует применение теоретических положений и может служить образцом для проведения инженерных расчетов.

Список литературы:

1. ГОСТ 520-2011 (ISO 492:2002, NEQ, ISO 199:2005, NEQ) Подшипники качения. Общие технические условия.
2. ГОСТ 18855 –2024 (ISO 281:2007 MOD). Подшипники качения. Динамическая расчетная грузоподъемность и расчетный срок службы.
3. ГОСТ 8338–75. Подшипники шариковые радиальные однорядные. Основные размеры.
4. Иванов, М.Н. Детали машин: учебник для вузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – 16-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 457 с.
5. Черменский О.Н., Федотов Н.Н. Подшипники качения: Справочник каталог. – М.: Машиностроение, 2003 – 576 с.
6. И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов Основы расчета на трение и износ – М.: Машиностроение, 1977 – 526 с.
7. Перель Л.Я. Подшипники качения. Расчет, проектирование и обслуживание опор. Справочник – М.: Машиностроение, 1983 – 543 с.

УДК 343.98:004.8

Квасов В. Ю.
Московский педагогический государственный университет (МПГУ), Москва, Россия

Научный руководитель: Орлова А. В., к. филос. н., доцент
Московский педагогический государственный университет (МПГУ), Москва, Россия

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИИ ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ ПРЕСТУПЛЕНИЙ В СФЕРЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. В статье исследуется роль искусственного интеллекта (ИИ) в расследовании и предотвращении компьютерных преступлений в условиях современной цифровой трансформации. Рассматривается проблема недостаточной эффективности традиционных методов расследования киберпреступлений и необходимость внедрения передовых технологий на базе ИИ. В эпоху стремительного развития киберпреступности исследование демонстрирует инновационный подход к использованию искусственного интеллекта в расследовании компьютерных преступлений, где особую актуальность приобретает способность ИИ-систем анализировать скрытые сегменты интернета и выявлять сложные преступные схемы в реальном времени. Уникальность исследования заключается в комплексном рассмотрении возможностей ИИ не только в области форензики и атрибуции кибератак, но и в создании превентивных механизмов защиты, способных адаптироваться к новым видам угроз быстрее традиционных методов расследования.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, киберпреступность, компьютерная криминалистика, цифровая безопасность.

В современную эпоху цифровой трансформации мы наблюдаем беспрецедентное развитие компьютерных технологий, которые, к сожалению, создают не только новые возможности для общества, но и порождают новые виды преступлений. Ещё в 1970-х годах хакеры начали активно исследовать возможности компьютерных систем, часто ради любопытства или демонстрации своих навыков. На сегодняшний день киберпреступность эволюционирует с невероятной скоростью, постоянно адаптируясь к новым мерам защиты и находя все более изощренные способы обхода систем безопасности.

В этих условиях традиционные методы расследования часто оказываются недостаточно эффективными, что создает необходимость внедрения передовых технологий, главной из которых становится искусственный интеллект. ИИ предоставляет правоохранительным органам мощный инструментарий для борьбы с киберпреступностью, позволяя анализировать огромные массивы данных в режиме реального времени и выявлять подозрительные паттерны поведения еще до совершения преступления.

Современные системы ИИ способны осуществлять непрерывный мониторинг сетевого трафика, выявляя аномалии и потенциальные угрозы безопасности. Они могут автоматически классифицировать различные типы кибератак, определять источники угроз и предсказывать возможные векторы атак. Особенно эффективны алгоритмы машинного обучения в обнаружении фишинговых атак, мошеннических схем и вредоносного программного обеспечения.

Важным преимуществом использования ИИ является его способность к самообучению и адаптации. По мере накопления данных о новых видах киберугроз, системы искусственного интеллекта совершенствуют свои алгоритмы обнаружения и противодействия, что позволяет поддерживать актуальный уровень защиты от постоянно эволюционирующих угроз.

В области расследования уже совершенных преступлений ИИ помогает специалистам анализировать цифровые улики, восстанавливать хронологию событий и устанавливать связи между различными инцидентами [4]. Технологии компьютерного зрения и обработки естественного языка позволяют автоматически обрабатывать огромные объемы визуальной и текстовой информации, что существенно ускоряет процесс расследования.

Прежде всего, необходимо отметить, что ИИ обладает уникальной способностью обрабатывать огромные массивы данных в кратчайшие сроки, что особенно важно при расследовании киберпреступлений. Современные преступления в сфере информационных технологий часто оставляют цифровые следы в различных системах, базах данных и сетях. Традиционные методы анализа такого количества информации требуют значительных временных затрат, телекоммуникационных и человеческих ресурсов, в то время как ИИ способен выполнить эту работу значительно быстрее и эффективнее [1, с. 7].

Одним из ключевых преимуществ использования ИИ является его способность к выявлению скрытых закономерностей и связей между различными элементами преступления. Алгоритмы машинного обучения могут анализировать поведенческие паттерны киберпреступников, выявлять аномалии в сетевом трафике и идентифицировать потенциальные угрозы еще до того, как преступление будет совершено. Это особенно важно в контексте превентивных мер и раннего предупреждения киберпреступлений.

Системы ИИ также демонстрируют высокую эффективность в области атрибуции кибератак. Благодаря анализу характерных особенностей вредоносного кода, методов проникновения в системы и других технических индикаторов, ИИ может помочь установить авторство атак и связать различные инциденты с конкретными преступными группировками или отдельными злоумышленниками.

Важным аспектом применения ИИ является его использование в форензике - компьютерной криминалистике. Современные инструменты на

базе ИИ способны восстанавливать удаленные данные, анализировать метаданные файлов, исследовать сетевые протоколы и реконструировать последовательность событий, приведших к совершению преступления [2, с. 516].

Применение искусственного интеллекта в сфере анализа даркнета и скрытых сегментов интернета представляет собой одно из наиболее перспективных направлений в борьбе с киберпреступностью. Современные ИИ-системы обладают уникальными возможностями для выявления и предотвращения противоправной деятельности в этих труднодоступных областях сети [3, с. 13].

В первую очередь, алгоритмы машинного обучения способны осуществлять непрерывный мониторинг огромных массивов данных, проходящих через скрытые сети. Они могут анализировать паттерны транзакций, выявляя подозрительные операции, которые могут быть связаны с отмыванием денег, торговлей запрещенными товарами или другой нелегальной деятельностью. ИИ способен обнаруживать аномалии в потоках криптовалютных платежей, что особенно важно, учитывая популярность цифровых валют в даркнете.

Алгоритмы ИИ могут автоматически сканировать многочисленные сайты в даркнете, анализировать их контент и структуру, выявляя площадки, на которых ведется торговля наркотиками, оружием, поддельными документами и другими запрещенными товарами. При этом ИИ способен адаптироваться к изменениям в методах маскировки таких платформ и находить новые способы их обнаружения.

Особую ценность представляет возможность ИИ выявлять связи между различными участниками преступных схем. Используя методы анализа социальных графов и обработки естественного языка, алгоритмы могут идентифицировать организаторов, посредников и клиентов нелегальных площадок, устанавливать их взаимосвязи и роли в преступных сетях, что значительно облегчает работу правоохранительных органов по выявлению и пресечению организованной преступности.

ИИ также эффективен в распознавании и анализе зашифрованных коммуникаций. Современные алгоритмы способны выявлять закономерности в зашифрованном трафике, определять используемые методы шифрования и потенциально опасные каналы связи. Помимо указанного, системы искусственного интеллекта помогают в создании цифровых профилей преступников, анализируя их поведение, предпочтения и методы работы, что позволяет прогнозировать возможные действия злоумышленников и предпринимать превентивные меры для предотвращения преступлений.

Однако применение ИИ в расследовании компьютерных преступлений сопряжено с рядом проблем и ограничений.

Во-первых, существуют правовые аспекты использования ИИ, связанные с защитой персональных данных и правами человека. Необходимо обеспечить баланс между эффективностью расследования и соблюдением законности.

Во-вторых, сами преступники начинают использовать технологии ИИ для совершения преступлений и сокрытия своих следов, что создает новые вызовы для правоохранительных органов.

В-третьих, существует проблема интерпретируемости результатов работы ИИ. Важно, чтобы выводы, сделанные системами ИИ, могли быть понятны и объяснимы для следователей и суда, так как это напрямую влияет на допустимость доказательств в судебном процессе.

В-четвертых, ИИ - мощный вспомогательный инструмент в киберкриминалистике, но не замена квалифицированному следователю. Его применение должно быть: тщательно регламентировано, подкреплено человеческим контролем, сопровождаться аудитом, верификацией и соблюдением правовых норм. В противно случае сталкиваемся с такими рисками применения ИИ в расследовании как: неправильная интерпретация корреляции как причинности, подмена или подделка цифровых следов со стороны злоумышленник, ошибка распознавания или классификации, т.е ИИ-система может ошибочно отнести легитимное поведение к злонамеренному.

Для эффективного и справедливого применения искусственного интеллекта (ИИ) в расследовании компьютерных преступлений крайне важно развивать многоуровневое международное сотрудничество. Современная киберпреступность по своей природе носит ярко выраженный трансграничный характер: злоумышленники зачастую действуют из одной юрисдикции, атакуя жертвы в другой, используя инфраструктуру третьей и скрывая следы в четвёртой. В таких условиях национальные усилия, даже самые технологически продвинутые, оказываются недостаточными без согласованных действий на глобальном уровне.

В этой связи мы считаем насущной необходимостью создание единых международных баз данных, содержащих информацию о кибератаках, цифровых уликах, тактиках злоумышленников, вредоносных программных образцах и поведенческих паттернах. Такие базы должны быть доступны правоохранительным органам разных стран в рамках строгих правовых и этических гарантий, обеспечивающих защиту персональных данных и предотвращение злоупотреблений. Кроме того, требуется активный обмен передовым опытом, научными наработками и технологическими решениями между государствами, исследовательскими центрами, частным сектором и международными организациями. Это позволит избежать дублирования усилий, ускорить разработку надёжных ИИ-инструментов и повысить общую устойчивость цифрового пространства.

В заключение следует отметить, что применение ИИ в расследовании компьютерных преступлений представляет собой перспективное направление развития правоохранительной деятельности. Несмотря на существующие проблемы и ограничения, потенциал использования ИИ в этой области огромен. Дальнейшее развитие технологий ИИ и совершенствование методов их применения позволит повысить эффективность борьбы с киберпреступностью и обеспечить более высокий уровень цифровой безопасности общества.

Список литературы:

1. *Бахтеев Д.В.* Искусственный интеллект в следственной деятельности: задачи и проблемы // Криминалистика. 2020. № 9. С. 3.
2. *Депонян А.Р.* Использование искусственного интеллекта в ходе предварительного расследования // Молодой ученый. 2023. № 20 (467). С. 516.
3. *Малина М.А.* Цифровизация российского уголовного процесса: искусственный интеллект для следователя или вместо следователя // Российский следователь. 2021. № 2. С. 13.
4. Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации: от 18.12.2001 № 174-ФЗ (ред. от 28.12.2024 № 110-ФЗ) (с изм. и доп., вступ. в силу с 05.02.2025) // Собрание законодательства РФ. 24.12.2001. № 52 (ч. I). Ст. 4921.

УДК 621

Игнатов К. В., Волков И. А.
Омский институт водного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», Омск, Россия

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена широко распространенной необходимостью повышения эффективности и надежности сборки корпусных деталей речных судов, что напрямую влияет на эксплуатационные характеристики и безопасность судовождения. Современные технические требования к судостроительным технологиям стимулируют разработку и внедрение инновационных методов сборки, а также использование новых материалов, обеспечивающих долговечность и устойчивость конструкций.
Цель данной работы — всесторонний анализ современных технологий сборки корпусных деталей речных судов, выявление их преимуществ и недостатков, а также предложение путей оптимизации процессов с учетом инновационных решений. Исследование сосредоточено на сравнительном анализе секционных и блочных технологий, а также на перспективных материалах и методах соединения, что позволяет определить наиболее эффективные и перспективные подходы к сборке судовых корпусов. В рамках работы рассматриваются основные вопросы, связанные с техническими характеристиками применяемых материалов, критериями выбора технологий, а также влиянием инновационных методов на качество и долговечность судовых конструкций. Структура исследования включает обзор современных материалов и технологий, анализ существующих методов сборки, а также сравнительный анализ их эффективности и перспектив развития.
Важность данной темы для науки и практики обусловлена необходимостью повышения технологической базы судостроения, что способствует увеличению безопасности, снижению затрат и расширению эксплуатационных возможностей речных судов. Проведение данного исследования позволяет внести вклад в развитие отрасли, определить приоритетные направления внедрения новых технологий и обеспечить дальнейшее совершенствование методов сборки корпусных деталей речных судов.
Ключевые слова: сборка, оптимизация, контроль качества, судостроение, технологии.

Материалы и методы

Материалы для сборки корпусных деталей

Обзор применяемых материалов для изготовления корпусных деталей речных судов включает широкий спектр современных композиционных и конструкционных материалов, обладающих необходимыми техническими характеристиками для обеспечения прочности, устойчивости к износу и долговечности судовых конструкций. Среди них особенно выделяются

морские алюминиевые сплавы, обеспечивающие легкий вес и высокую коррозионную стойкость при сохранении достаточной прочности. Их преимущества заключаются в малой массе, высокой пластичности и стойкости к эрозионным воздействиям, что делает их предпочтительным выбором для современных судостроительных технологий. Применение стальных и нержавеющих сплавов обеспечивает необходимые механические свойства, особенно в зонах высокой нагрузочной динамики и контакта с агрессивной средой, при этом такие материалы характеризуются высокой стойкостью к коррозии и износу. Композитные материалы, такие как углепластики и стеклопластики, все активнее внедряются в конструкцию корпусных деталей благодаря своим высоким характеристикам по отношение к удельной прочности и устойчивости к коррозии, а также снижению веса конструкции. Эти материалы особенно перспективны для элементов, требующих повышенной износостойкости и экологической безопасности. Методы обработки материалов разнообразны: механическая обработка, сварка, клепка и использование клеевых соединений. Для повышения механической прочности и долговечности соединений применяются инновационные технологии, такие как лазерная сварка, фрикционная сварка и применение специальных адгезивных составов, оптимизированных для работы с композитными материалами. Выбор оптимальных решений осуществляется исходя из требований к прочности, коррозионной стойкости, условиям эксплуатации и технологической сложности производства. Внедрение современных инновационных материалов и технологий позволяет значительно повысить показатели надежности судовых конструкций, снизить вес и увеличить ресурс эксплуатации. Перспективами развития являются интеграция нанотехнологий, развитие новых композиционных систем и расширение возможностей автоматизированной обработки материалов, что в перспективе обеспечит создание корпуса судов более легких, прочных и экологически безопасных, полноценно соответствующих современным требованиям области судостроения. Внедрение таких решений в производство способствует укреплению конкурентоспособности речных судов за счет повышения их технико-эксплуатационных характеристик и снижения затрат на техобслуживание и ремонт.

Дополнительно важным аспектом является внедрение автоматизированных систем контроля качества на этапах обработки и сборки материалов, что существенно снижает риск дефектов и повышает однородность микроструктурных свойств конечных изделий. Такой подход способствует не только повышению надежности судовых конструкций, но и сокращению времени на последующую ремонтопригодность, что является критически важным в условиях эксплуатации речных судов. Как указывают исследования в области производственной технологии, «целью является разработка единой системы факторов, влияющих на время цикла сборки

изделия, и основанный на этой системе способ оценки эффективности организации сборочного производства»[3].

Интеграция современных информационных технологий и роботизированных систем в производственный процесс позволяет оптимизировать последовательность операций, повысить точность технологических процессов и обеспечить стандартизацию конечной продукции, что делает технологию сборки более предсказуемой и управляемой.

Методы сборки: секционные и блочные технологии

Рассмотренные принципы секционных и блочных технологий сборки корпусных деталей речных судов позволяют выделить их ключевые особенности, преимущества и области применения, исходя из необходимости повышения качества конструкции и оптимизации производственных процессов. Секционные технологии предполагают выполнение сборки корпуса из отдельных секций, которые далее соединяются в соответствии с проектными требованиями. Этот подход обеспечивает гибкость в производстве, позволяет значительно сокращать сроки изготовления и облегчает транспортировку, что особенно актуально для судов, предназначенных для эксплуатации в условиях ограниченных габаритов. Блочные технологии основаны на сборке крупногабаритных блоков, включающих несколько элементных частей корпуса, что способствует повышению точности изготовления и снижению времени монтажных работ за счет предварительной сборки крупных элементов на стапельных площадках. Основным критерием выбора между секционной и блочной технологией является масштаб проекта, требования к скорости производства и условия последующей эксплуатации судна. В процессе производства важную роль играет оптимизация технологических процессов, направленная на минимизацию брака и сокращение времени сборки, что достигается применением автоматизированных систем и стандартизацией элементов. Особенности производства включают выбор соответствующих технологий сварки, соединения элементов и методов контроля качества, а также внедрение инновационных материалов, способных повысить долговечность конструкций. Монтажные процессы требуют высокой точности и координации, поскольку в условиях ограниченных пространств зачастую используют специальное оборудование и инструменты для фиксации и сварки элементов, что снижает временные затраты и повышает качество выполнения работ.

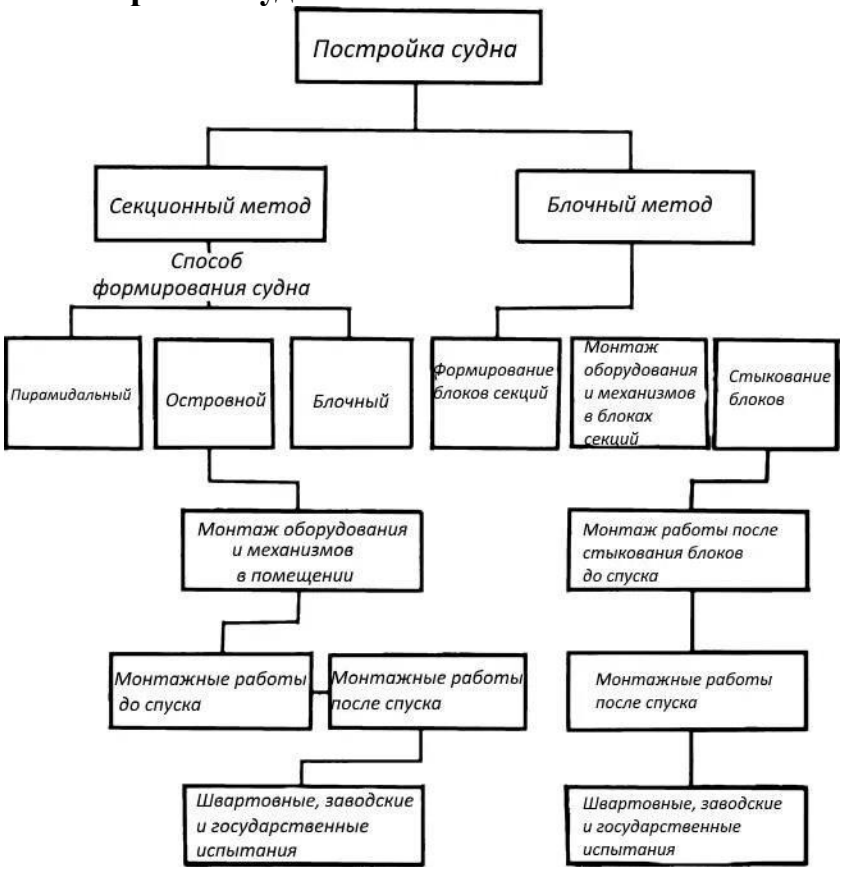
В целом, эффективность данных технологий определяется способностью обеспечить высокие эксплуатационные характеристики судна, а также адаптивность производства под индивидуальные требования конкретных проектов. В рамках современных тенденций особенно важной становится задача дальнейшей оптимизации технологических решений для

повышения производительности, снижения стоимости и повышения уровня автоматизации процессов сборки, что способствует укреплению конкурентных позиций на рынке судостроения и обеспечивает устойчивое развитие отрасли. Важность данной темы обусловлена необходимостью повышения эффективности производства речных судов в условиях снижающегося объема заказов и необходимости внедрения инновационных решений, что подчеркивается в аналитических обзорах, например, в исследовании, указывающем на диспаритет стоимости новых судов и сложности их воспроизводства.

Не менее важным аспектом в реализации секционных и блочных технологий является внедрение современных методов контроля качества, таких как неразрушающие методы диагностики и автоматизированное тестирование соединений. Это обеспечивает своевременное выявление дефектов и повышает надежность конечного изделия. В условиях жестких требований к долговечности и безопасности судов, использование таких технологий становится необходимым условием успешной эксплуатации и снижения затрат на обслуживание и ремонт, что особенно актуально для повышения конкурентоспособности речных судов на рынке.

Секционный метод в судостроительстве применяется чаще, чем блочный в соотношении 65%/35%.

Таблица 1. Схема постройки судна



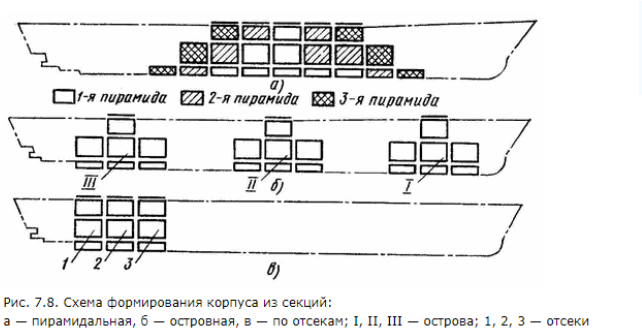


Рисунок 1. Секционный метод

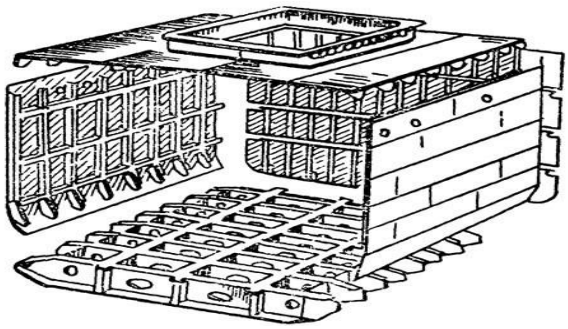


Рисунок 2. Блочный метод

Результаты и обсуждение

Анализ внедрения технологий сборки

Обзор текущих методов сборки корпусных деталей речных судов свидетельствует о широком использовании традиционных технологий, основанных на долгосрочно отработанных механизмах соединения элементов посредством сварных швов, болтовых соединений и клепки. Эти подходы зарекомендовали себя в рамках производства судовых конструкций благодаря высокой проверенной прочности и надежности, однако требуют значительных затрат времени и трудовых ресурсов, а также обладают ограниченной автоматизацией процессов. В последние годы наблюдается тенденция к внедрению современных технологий сборки, которые направлены на повышение производительности и качества изготовления. Значительный интерес представляют секционные и блочные технологии сборки, в рамках которых осуществляется раздельное производство модулей с последующим их соединением на месте эксплуатации. Эффективность таких методов подтверждается анализом внедрения на большинстве судостроительных предприятий, где отмечается сокращение сроков сборки и минимизация ошибок при соединении элементов. Основные преимущества современных методов включают возможность автоматизации производственных процессов, повышение точности и повторяемости, а также возможность масштабирования в соответствии с проектными требованиями.

Несмотря на очевидные преимущества, существуют и определенные недостатки, такие как необходимость точного расчета монтажных узлов и

соответствующего оборудования, что требует дополнительных инвестиций и профессиональных компетенций. В рамках оценки эффективности технологий особое внимание уделяется количественной и качественной оценке конечных характеристик судов, включая прочность, долговечность и эксплуатационные показатели. Внедрение технологий, основанных на инновационных материалах и автоматизированных системах сборки, позволяет достигать новых уровней производительности и повышения качества. Оценка результатов применения различных технологий демонстрирует, что комбинация современных методов с традиционными подходами дает возможность оптимизировать производственные процессы, снизить расходы и увеличить автономность сборочных цехов. Планы по оптимизации процессов предполагают активное внедрение роботизированных систем, модернизацию оборудования и развитие программных платформ для моделирования и контроля качества.

В перспективе, развитие технологий сборки будет обусловлено ростом требований к экологической безопасности, уменьшением весовых характеристик конструкций и увеличением автоматизации, что сформирует основу для более широкого применения в области строительства судов различного назначения и размера. В целом, развитие технологий сборки корпусных деталей речных судов является ключевым направлением повышения технологической эффективности отрасли, обеспечивая значения конкурентоспособности продукции и соответствие современным стандартам.

Важной тенденцией в развитии технологий сборки является интеграция систем мониторинга и диагностики состояния конструкций на этапах производства и эксплуатации. Внедрение таких систем позволяет оперативно выявлять возможные дефекты, контролировать качество сварных швов и соединений, а также прогнозировать дальнейшее поведение корпусных элементов под воздействием эксплуатационных нагрузок и внешних факторов. В условиях повышения требований к долговечности и безопасности судов подобные подходы обеспечивают более точное соответствие стандартам, минимизируют риск аварийных ситуаций и способствуют развитию методов предиктивного обслуживания. В качестве перспективных направлений рассматривается использование методов искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа больших объемов данных, поступающих в процессе сборки, что существенно расширяет возможности оптимизации технологических процессов, повышая их надежность и эффективность.

Сравнительный анализ традиционных и современных методов

Сравнение традиционных и современных методов сборки корпусных деталей речных судов позволяет выявить эффективность каждого подхода в контексте текущих требований к качеству, безопасности и производительности. Традиционные методы, такие как механическая обработка и ручное соединение элементов с помощью сварки и болтов, характеризуются высокой технологической зрелостью и широким распространением. Эти подходы обеспечивают сравнительно простую технологическую реализацию, позволяют

добиться высокой точности сварных соединений при условии наличия квалифицированных специалистов, и требуют относительно низких затрат на оборудование. Однако их недостатками являются относительно низкая производительность, высокая зависимость от человеческого фактора и ограниченная возможность адаптации к сложным конфигурациям изделий, что сказывается на общем сроке производства и качестве конечной продукции. В то же время современные технологии сборки базируются на использовании автоматизированных и роботизированных систем, инновационных материалов и модульных конструкций.

Среди них особое место занимают секционные и блочные технологии, позволяющие значительно ускорить монтажные процессы, повысить точность и обеспечить однородность соединений. Эти методы характеризуются высокой степенью автоматизации, что способствует снижению затрат труда, минимизации человеческого фактора и повышению стандартизации продукции. Однако внедрение современных технологий сопряжено с высокой первоначальной стоимостью оборудования, необходимостью обучения персонала и развитой инфраструктурой производства. Области применения традиционных методов остаются актуальными при малых сериях, ремонтных работах и условиях, требующих высокой гибкости, тогда как современные методы превосходят традиционные по эффективности при крупносерийном производстве и в случаях, требующих высокой точности и скорости сборки.

Перспективные направления развития включают интеграцию обеих систем для достижения оптимального баланса между стоимостью, качеством и скоростью, а также внедрение инновационных материалов и технологий, таких как аддитивные методы, обеспечивающих новые возможности для повышения надежности и долговечности корпусных деталей. В целом, оценка эффективности показывает, что переход к современным автоматизированным технологиям является стратегически важным для повышения конкурентоспособности речных судов и соответствия высоким стандартам современных судостроительных требований.

Особое значение в контексте внедрения современных технологий сборки имеет вопрос стандартизации и мониторинга технологических процессов, что позволяет повысить степень контроля и обеспечить высокое качество сборки на всех этапах производства. Использование цифровых двойников, систем автоматизированного контроля и анализа позволяет предсказывать возможные дефекты, оптимизировать рабочие процессы и сокращать сроки изготовления. Такие подходы способствуют не только повышению надежности и долговечности корпусных деталей, но и позволяют более гибко реагировать на изменения требований заказчиков и стандарты безопасности. Внедрение интегрированных информационных платформ, например, на базе «Руна Конструктор», способствует накоплению и систематизации данных, делая возможным более точное управление всем циклом жизнедеятельности судна и

его компонентов, что является важнейшим аспектом в условиях современных требований к судостроительной отрасли.

Заключение

Основные выводы исследования

Основные выводы исследования свидетельствуют о высокой значимости анализа современных технологий сборки корпусных деталей речных судов для повышения их эксплуатационной надежности и долговечности. Выявленные преимущества секционных и блочных технологий подтверждают их перспективность в условиях современной судостроительной промышленности. Анализ применяемых материалов и методов соединения показал, что использование инновационных композиционных материалов и современных технологий обработки существенно улучшает показатели прочности и снижаем риск дефектов в процессе эксплуатации.

Полученные результаты демонстрируют, что оптимизация процессов сборки и внедрение инновационных решений способствует сокращению сроков производства, снижению издержек и повышению качества судовых конструкций. В условиях необходимости повышения конкурентоспособности судостроительной отрасли актуализируется внедрение комплексных подходов и современных технологий, что подтверждает необходимость дальнейших исследований. Для закрепления достигнутых результатов и более глубокого понимания динамики развития технологий рекомендуется расширение экспериментальной базы и углубленное изучение воздействия инновационных материалов и методов сборки на эксплуатационные характеристики речных судов.

В целом, полученные данные и выработанные рекомендации могут служить основой для формирования методических документов и стандартов, способствующих внедрению передовых технологий в судостроительный комплекс, повышая эффективность и надежность производства корпусных деталей речных судов.

Список литературы:

1. Терешонков Владимир Андреевич, Прокопенко Денис Алексеевич. АНАЛИЗ СТОИМОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНОГО ТРЕКЕРА ВАГРЕГАТА ПЛАНЕРА ВОЗДУШНОГО СУДНА ПО СРАВНЕНИЮ С ТРАДИЦИОННЫМИ МЕТОДАМИС ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ И БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КМ // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2021. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-stoimosti-ispolzovaniya-lazernogo-trekera-v-sborke-agregata-planera-vozdushnogo-sudna-po-sravneniyu-s-traditsionnymi (дата обращения: 18.11.2025).

2. Исмаилов В. Р., Тарачков М. В., Попова Л. А., Протасевич М. Н., Савкин Д. А., ОПЫТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИРОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ3DПЕЧАТИ // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-izgotovleniya-i-sborki-robota-manipulyatora-s-primeneniem-tehnologii-3dpechati (дата обращения: 18.11.2025).

3. Пономарева Виктория Сергеевна, Хомутская Ольга Владиславовна. ИССЛЕДОВАНИЕПРОИЗВОДСТВА КАК ФАКТОРА, ВЛИЯЮЩЕГО НА ВРЕМЯ ЦИКЛАИЗДЕЛИЯ // Омский научный вестник. 2024. URL:

https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-tehnologii-proizvodstva-kak-faktora-vliyayuschego-na-vremya-tsikla-sborki-izdeliya (дата обращения: 18.11.2025).

4. В.В. Непомилуев, А.Н. Семенов. Компьютерное моделирование процессакак способ обеспечения его качества // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития. 2020. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternoe-modelirovanie-protsessa-sborki-kak-sposob-obespecheniya-ego-kachestva (дата обращения: 18.11.2025).

5. Артеменко Роман Васильевич. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИГАЗОВЫХ МАГИСТРАЛЕЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В 1960-1980-Е ГГ. XX В. // Северный регион: наука, образование, культура. 2022. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-tehnologiy-funktsionirovaniya-i-sborki-gazovyh-magistraley-zapadnoy-sibiri-v-1960-1980-e-gg-hh-v (дата обращения: 18.11.2025).

6. Тилинин Ю.И., Животов Д.А., Тилинин В.Ю., ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ МОНТАЖА КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНЫХ БЫСТРОВОЗВОДИМЫХ ЗДАНИЙ // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-tehnologichnosti-montazha-karkasno-panelnyh-bystrovozvodimyh-zdaniy (дата обращения: 18.11.2025).

7. Белобородов С. М., Модорский В. Я., Цимберов Д.М., ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОБМЕРЗАЮЩИХ РОТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. 2022. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie-dinamicheskoy-ustoychivosti-obmerzayuschih-rotorov-tehnologicheskimi-metodami (дата обращения: 18.11.2025).

8. Щипкова Юлия Владимировна. НАСАДКИ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ДЛЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРУБ С НАПОЛНИТЕЛЕМ В ВИДЕ ДВУХ ГОФРИРОВАННЫХ ЛЕНТ // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-sborki-nasadki-teploobmennogo-apparata-dlya-aerodinamicheskih-trub-s-napolnitelem-v-vide-dvuh-gofrirovannyh-lent (дата обращения: 18.11.2025).

9. Ахмадияров У.С., Чориев П.З., Улучшениекрышных конструкций крупного пространства: интегрированный подход BIM–DES–FMEA–LEAN // Строительство и образование. 2025. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/uluchshenie-tehnologii-sborki-kryshnyh-konstruktsiy-krupnogo-prostranstva-integrirovannyy-podhod-bim-des-fmea-lean (дата обращения: 18.11.2025).

10. Цыбуляк В.Ф., ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛГОРИТМА СОЗДАНИЯ// Инновационная наука. 2021. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-algoritma-sozdaniya-korpusnyh-detaley (дата обращения: 18.11.2025).

11. Антипов Дмитрий Вячеславович, Михеев Михаил Александрович, Панин Вадим Игоревич, Жуков Виталий Владимирович. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ 3D ПЕЧАТИМКА НК // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2023. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-3d-pechati-korpusnyh-detaley-mka-nk (дата обращения: 18.11.2025).

12. В. А. Фруцкий, М. В. Семенченко. ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИДВИГАТЕЛЕЙ // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2024. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-vosstanovleniya-rabotosposobnosti-korpusnyh-detaley-dvigateley (дата обращения: 18.11.2025). 13. Лутьянов А.В., Леонов А.В., Снимщиков К.А., ТОЧНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ РАСТАЧИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ// Международный научно-исследовательский журнал. 2021. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tochnost-tehnologicheskoy-operatsii-rastachivaniya-otverstiy-korpusnyh-detaley (дата обращения: 18.11.2025).

УДК 693.55

Сидорова М. М., Тилинин Ю. И.
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

ПОИСК РАЦИОНАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Аннотация: Монолитное строительство отличается универсальностью и подходит как для создания подземных, так и надземных конструкций. В данной статье анализируется вопрос оптимизации технологии бетонных работ при возведении монолитных сооружений. Исследователи выдвинули гипотезу о монолитной технологии строительства зданий, предполагающей использование шахтного подъемника. Для оценки эффективности этого подхода был проведен сравнительный анализ различных методов вертикального транспортирования бетонной смеси при возведении монолитных конструкций. Изучив результаты экспертной оценки, авторы выявили оптимальные производственные условия для применения различных способов вертикального транспортирования бетонной смеси.

Ключевые слова: монолитное строительство, подземный и надземный цикл, возведение надземной части, шахтный подъемник, бетононасос, строительный кран, метод экспертной оценки, анализ.

Введение

С появлением на строительном рынке импортной крупнощитовой опалубки с палубой из водостойкой фанеры, закрепленной на металлическом каркасе, в 1990-е годы набирает темпы монолитное домостроение [1-3].

При монолитной технологии возведения зданий требуется так же, как и при полносборной технологии, применение монтажного крана (рис. 1).

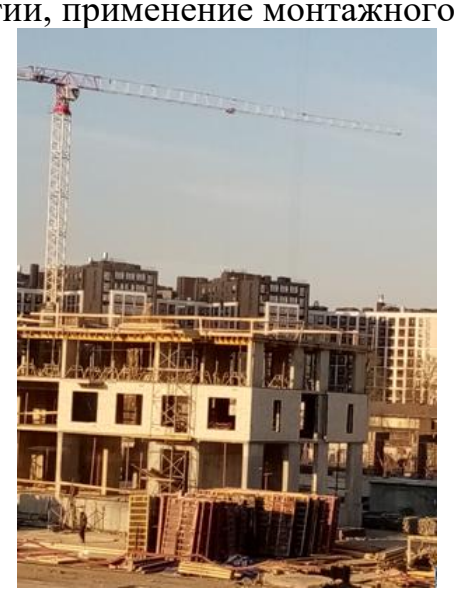


Рис.1. Возведение монолитного жилого здания в Санкт-Петербурге с использованием башенного крана с поворотной балочной стрелой и неповоротной башней на железобетонном фундаменте, вылет крюка крана изменяется при перемещении грузовой тележки (фотография Ю.И. Тилинина, 2023г.)

Строительный кран играет важную роль при возведении монолитных зданий. Он используется для установки щитов опалубки, подачи строительной арматуры и транспортировки бетонной смеси в специальных бадьях в зону выполнения работ. Одним из значительных преимуществ технологии монолитного домостроения, особенно на исторической территории Санкт-Петербурга, является эффективное сочетание методов освоения подземного пространства с технологией строительства надземных частей зданий. Такое решение позволяет максимально использовать возможности монолитных конструкций. Основное внимание в исследовании уделено монолитным технологиям, которые могут существенно повысить эффективность строительного производства благодаря применению универсальных материалов, включая бетонные смеси и строительную арматуру [4, 5]. Использование таких подходов снижает потребность в больших материальных запасах, что, в свою очередь, экономит оборотные средства и повышает рентабельность проектов. К тому же монолитное строительство требует меньше пространства для строительной площадки по сравнению с традиционным сборным домостроением. В рамках исследования рассматриваются способы организации процессов при возведении монолитных конструкций. Основной акцент сделан на рациональное использование методов вертикальной транспортировки бетонной смеси. Такие методы активно совершенствуются, обеспечивая более эффективное и экономически выгодное выполнение строительных задач. Ключевая задача исследования заключается в поиске оптимальных областей применения различных технологий вертикальной транспортировки бетонной смеси, а также анализе перспектив использования шахтного подъемника при строительстве монолитных зданий.

Основные типы опор распределительных стрел схематически показаны на рис. 2.

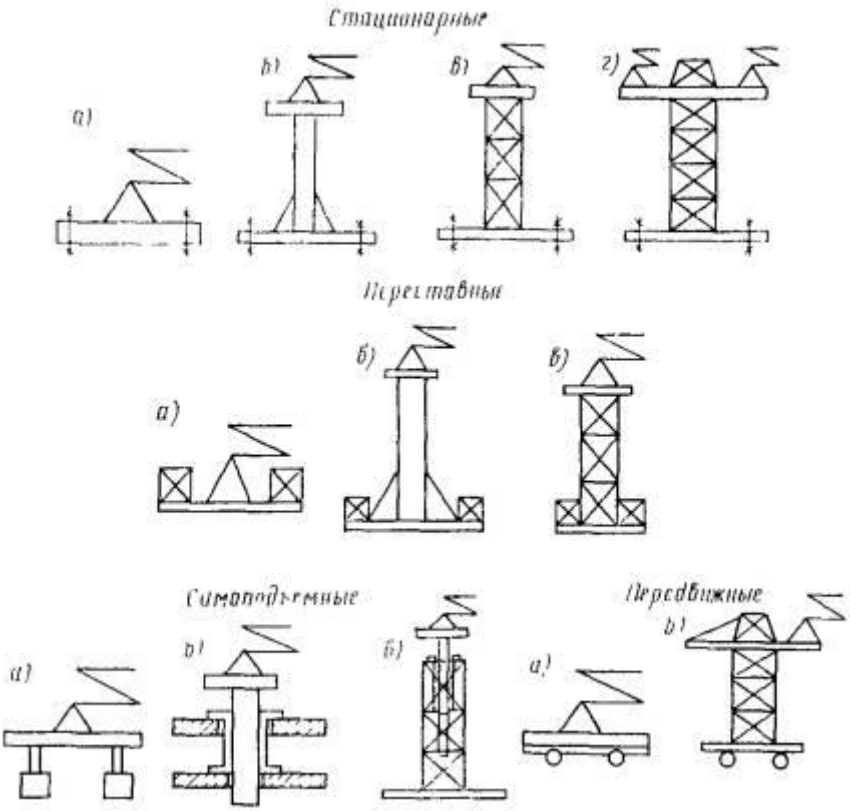


Рис. 2. Основные типы опор автономных распределительных стрел
а - на рамной опоре, б - на трубчатой колонне, в - на башенной опоре; г - на башенно-стреловой установке одно- или двухконсольной [6, 7].

Особый интерес для автоматизации бетонирования представляет, по мнению авторов, самоподъемная трубчатая опора, собираемая из звеньев длиной 4 м, 6 м, 10 м, которая применяется немецкой фирмой «SCHWING» (рис.3).

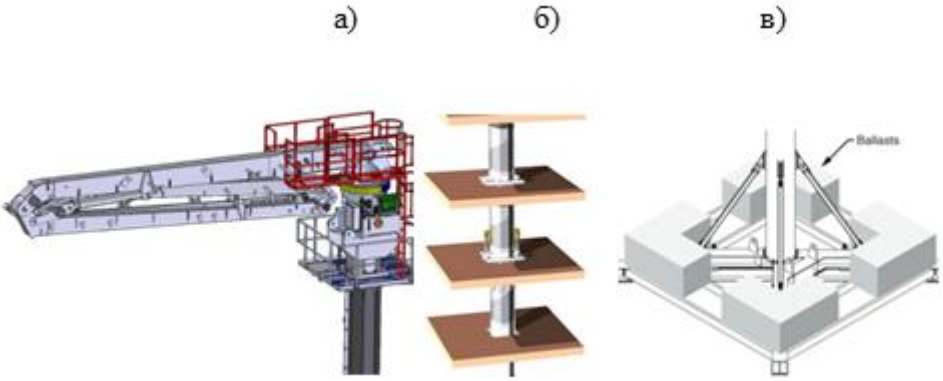


Рис.3. Элементы распределительной стрелы на трубчатой опоры:
а - распределительная стрела в сложенном виде; б – крепление к перекрытиям самоподъемной трубчатой опоры распределительной стрелы; в - крепление в нижней части самоподъемной трубчатой опоры к опорной крестовине

На стадии нулевого цикла широко используются стационарные бетононасосы и распределительные стрелы (Рис.4).

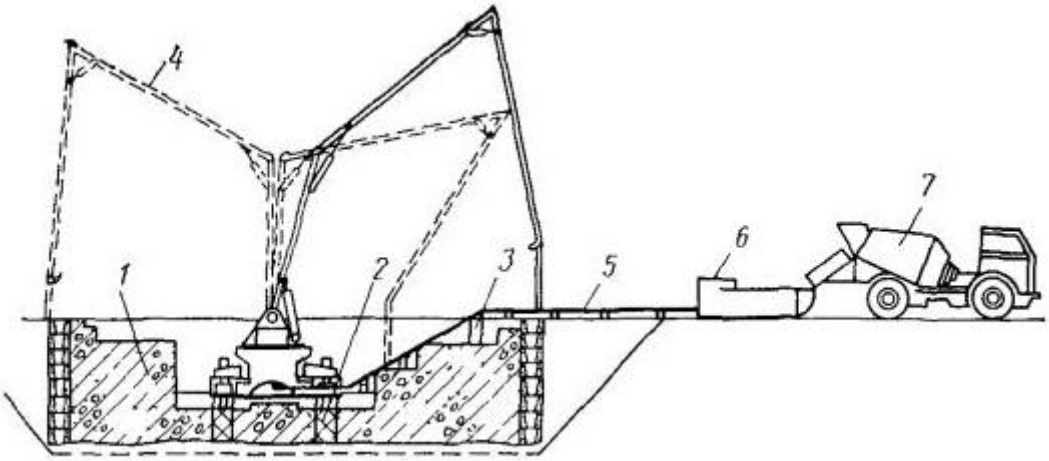


Рис. 4. Строительство монолитных конструкций нулевого цикла с использованием бетононасоса и распределительной стрелы длиной 25 м: 1 – массивный железобетонный фундамент; 2 – опорное устройство; 3 – опорные стойки для бетоновода; 4 – стрела; 5 – бетоновод; 6 – бетононасос; 7 – автобетоносмеситель.

Подачу бетонной смеси выполняют манипулятором на основе башенного строительного крана (рис. 5).

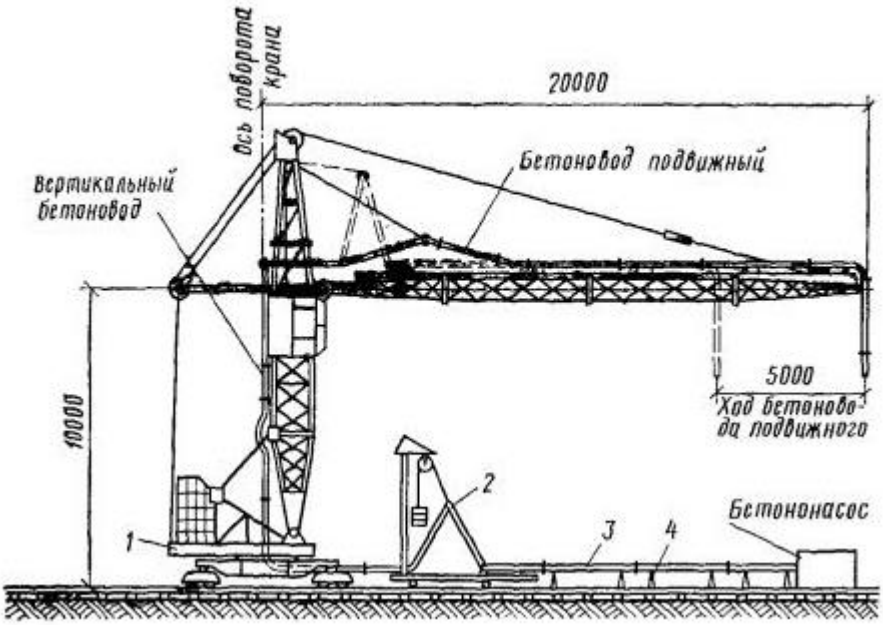


Рис. 5. Распределительная стрела на базе крана:
1 - крановая установка; 2 - компенсационное устройство; 3 - магистральный бетоновод; 4 - регулируемая опора [6, 7]

Кроме того, башенный манипулятор должен быть оснащён функцией подъёма грузов, необходимой для подачи арматуры и других элементов на высоту. Предполагается, что грузоподъёмность может быть ограничена до 2 тонн.

Авторы подчеркивают, что совершенствование этого процесса является перспективным направлением развития техники бетонных работ. Рассматривается гипотеза использования шахтного подъемника, оборудованного подъемной головкой с прикрепленной распределительной стрелой. Стрела фиксируется на рамной опоре, к которой подключается бетоновод от стационарного бетононасоса. Предложенный метод включает наращивание сборной многоячеистой шахты по мере возведения здания. Одна из секций шахты отводится под пассажирскую клеть, другая используется для подъема малогабаритных грузов, а третья служит каналом для вертикального прокладывания бетоновода. Через него бетонная смесь поступает от насоса к распределительной стреле. Установку шахтного подъемника планируется выполнять в заранее оставленных проемах междуэтажных перекрытий или в будущей лифтовой шахте здания.

Предложенный метод строительства монолитных зданий основывается на использовании шахтного подъемника, оснащенного распределительной стрелой, который изначально применялся при возведении монолитных железобетонных дымовых труб. Процесс увеличения высоты шахтного подъемника выполняется путем поэтапного монтажа стоек, ригелей, раскосов и направляющих для движения клетей. Смонтированные элементы проходят проверку и корректировку с последующим окончательным затягиванием болтовых соединений. Внутри конструкции устанавливаются переходные площадки и крепятся лестницы. Работы осуществляются бригадой опытных бетонщиков: два специалиста 5 разряда и один 4 разряда. При условии быстрой доставки сборных элементов к месту монтажа процесс сборки одного яруса занимает не более двух часов. Возведение очередного этажа здания проводится в следующей последовательности:

- увеличение высоты шахтного подъемника на уровень нового этажа;
- перемещение самоподъемной головки на соответствующую высоту;
- наращивание вертикального бетоновода;
- подача бетона через распределительную стрелу в установленную опалубку перекрытия;
- технологическая пауза для ухода за бетоном во время его затвердевания;
- монтаж арматуры и установка опалубки стен;
- заливка бетона в стеновые опалубки при помощи распределительной стрелы;

повторная технологическая пауза для ухода за бетоном.

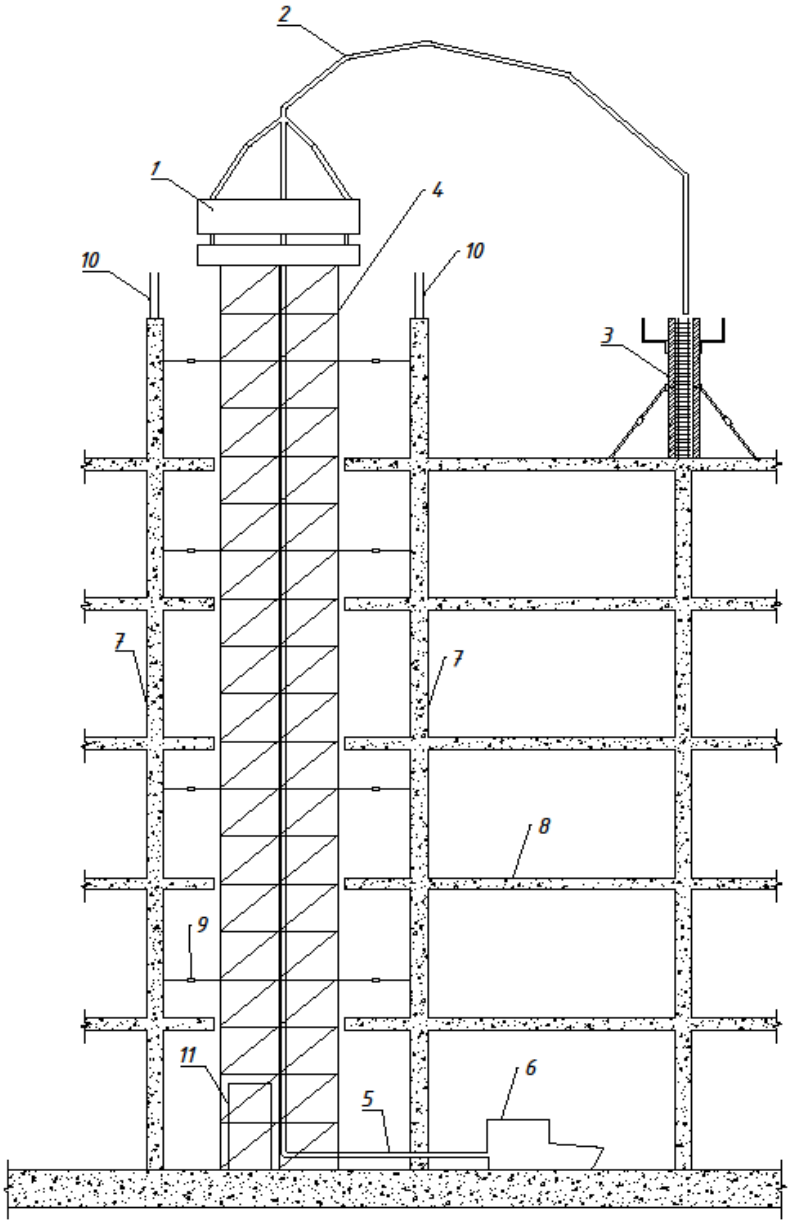


Рис. 5. Шахтный подъемник с самоподъемной головкой и распределительной стрелой при возведении монолитного высотного здания:
1 – самоподъемная головка; 2 –распределительная стрела; 3 – сборно-разборная щитовая опалубка стен; 4 – собираемый из трубчатых элементов многоклеточный шахтный подъемник; 5 – бетоновод; 6 –бетононасос; 7– железобетонная монолитная стена; 8– железобетонное монолитное перекрытие; 9– натяжная муфта центровочного троса; 10– стержни вертикальной арматуры стен; 11– клеть подъема людей и грузов.

При монтаже многоклеточного шахтного подъемника выполняется его центровка с использованием тяжелых тросов и натяжных муфт, причем в центре верхней части конструкции закрепляется тонкий трос отвеса, ориентированный на стальной стержень, забетонированный в основании

фундамента. Альтернативно вместо отвеса может быть использован лазерный нивелир. Авторы рассчитывают достичь сменной производительности по бетонированию более 800 м³, основываясь на характеристиках современных бетононасосов и распределительных стрел. При этом длина горизонтальной подачи бетона планируется не менее 50 м с использованием стандартного диаметра бетоновода 125 мм. Сравнительно низкая производительность традиционной вертикальной транспортировки бетонной смеси с использованием башенных кранов и бадей составляет около 27 м³ за смену, что неэффективно для крупных проектов. Для оптимизации процесса монолитного строительства, особенно в условиях ограниченного пространства стройплощадки, применяются стационарные бетононасосы с различными типами распределительных стрел:

- на рамной опоре;
- на башенной трубчатой конструкции;
- на башенной решетчатой конструкции;
- на решетчатой конструкции с одной или двумя консолями.

Для сравнительного анализа разных методов вертикальной подачи бетона (башенным краном с помощью бадьи или бетононасосом с распределительной стрелой) был использован метод экспертного опроса.

Результаты исследования

Результаты экспертной оценки приведены в таб.1.

Таблица 1. Результаты экспертной оценки способов вертикальной транспортировки бетонной смеси

№ п/п	Критерий сравнительной оценки	Экспертная оценка критерия по шкале десять баллов							
		Кран строительный		Распределительная стрела с различными видами опор					
		стреловой	башенный	автомобиль	рамная опора	Башен-ная трубчатая опора	Башен-ная решетчатая опора	башенная решетчатая опора с одной или двумя консолями	Усовершенствованный кран с бетоноводом
1	Устойчивость к ветровой нагрузке и опрокидыванию	6	9	10	6	8	8	9	9

2	Мобильность (транспортабельность)	8	4	10	6	5	4	4	4
3	Высота подачи бетонной смеси	7	10	5	7	6	7	8	8
4	Самоподъемная функция опоры стрелы	7	10	7	4	7	7	8	8
5	Максимальный вылет удерживаемой стрелы	7	10	7	6	7	7	7	8
6	Выполнение смежной (грузоподъемной) функции с учетом высоты подъема груза	8	10	1	1	1	1	3	7
7	Наличие холостого хода	1	1	10	10	10	10	10	8
8	Необходимость перестановки краном	10	10	10	1	7	7	7	10
	Итого (Универсальность)	54	64	60	41	51	51	56	62

Способ вертикальной транспортировки бетонной смеси при помощи строительного крана наиболее приемлем при бетонировании стен, с малыми объемами бетонной смеси, потому что малая скорость около 20 м в минуту и наличие холостого хода крюка крана снижает его производительность при подаче бетонной смеси на высоту более 40 м и соответственно снижается интенсивность бетонирования.

Вертикальная транспортировка бетонной смеси автобетононасосами, оборудованными распределительной стрелой, наиболее эффективна при высоте подачи до 40 м. Для подачи бетонной смеси на высоту более 40 м применяется стационарный бетононасос и распределительная стела с опорой

в виде рамы, переставляемая башенным краном.

Выбор способа вертикальной транспортировки бетонной смеси в реальных условиях строительства зависит от характеристик строительного объекта и строительной площадки.

При выборе бетононасоса часто пользуются приблизительными расчетами, заключающимися в приведении всех вертикальных перемещений смеси к горизонтальному эквиваленту путем троекратного увеличения суммы всех вертикальных участков бетоновода и прибавления к ним длин горизонтальных бетонодов. Затем выбирается бетононасос с дальностью горизонтальной перекачки не ниже расчетной. По производительности бетононасос выбирают, ориентируясь на объем бетонирования, так при объеме бетонирования до 1500 м^3 выбирают насос с производительностью не менее 10 м^3/час, при объеме от 1600 до 4000 м^3 – не менее 20 м^3/час, а при объеме 10 000 м^3 – не менее 40 м^3/час. Современные бетононасосы имеют в технических характеристиках производительность 40 - 200 м^3/час.

Заключение

В данной работе проведено экспертное сравнительное исследование методов вертикальной транспортировки бетонной смеси, по результатам которого определено следующее:

- Для строительства монолитных зданий средней и повышенной этажности наиболее экономичным является использование башенных кранов, которые эффективно применяются при бетонировании стен.
- Бетонирование фундаментных плит и перекрытий до 9-го этажа рациональнее производить с помощью автобетононасоса; при этом более крупные модели автобетононасосов позволяют подачу бетона на высоту до 15-го этажа.
- При транспортировке бетонной смеси на высоту до 5 этажей в ограниченных условиях целесообразно использовать распределительные стрелы, установленные на вертикальных опорах-вышках.
- В высотном строительстве рекомендуется применение стационарных бетононасосов, оснащённых распределительными стрелами на рамных опорах, которые монтируются и перемещаются при помощи башенных кранов.
- На текущий момент универсальные башенные краны с оборудованными бетоноводами в строительстве не применяются.
- Разработанная технология возведения зданий, предусматривающая использование бетононасоса, шахтного подъёмника и распределительной стрелы, рассматривается как гипотетическая модель и требует дальнейшей проработки и исследований.

Важную роль в этом процессе играет ограниченность производственных площадей, которая характерна для строительства и реконструкции в

исторических городах с высокой плотностью застройки, например, в городе Санкт-Петербург.

Список литературы

1. Тилинин Ю.И., Щербаков А.П. Механизация и автоматизация процессов монолитного домостроения с учетом проблем строительной робототехники. В сборнике: Технология и организация строительства. Материалы I Всероссийской межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры "Строительное производство". Под общей редакцией А.Н. Гайдо. 2020. С. 407-417.

2. Мосаков Б.С., Курбатов В.Л., Волкова С.В. Технологические процессы при возведении зданий и сооружений в монолитном исполнении/ Монография. Минеральные Воды, 2019.- 430 с.

3. Мотылев Р.В., Кагазежев А.Ю. Особенности скоростного монолитного строительства жилых зданий в зимний период / Р.В. // Наука и бизнес: пути развития. – 2021. – № 12 (126). – С. 85-87.

4. Yudina, A. Selection of criteria for comparative evaluation of house building technologies / A. Yudina, Yu. Tilinin // Architecture and Engineering. – 2019. – Vol. 4, No. 1. – P. 47-52. – DOI 10.23968/2500-0055-2019-4-1-47-52.

5. Лапидус, А.А. Обоснование процесса выбора организационно-технологических решений / А.А. Лапидус, П.П. Олейник // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 4. – С. 70-74. – DOI 10.33622/0869-7019.2024.04.70-74. – EDN IHPPPR.

6. Тилинин Ю.И. Рациональное применение домостроительных технологий// Ю.И. Тилинин, О.Н. Дьячкова, В.А. Ратушин // Жилищное строительство. 2020. № 1–2. С.11–15 DOI: https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-1-2-11-15

7. Тилинин Ю.И. Строительные системы и технологии возведения зданий и сооружения Новороссийской морской базы. В сборнике: Актуальные проблемы естественных и технических наук. Сборник статей межвузовской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 226-232.

УДК 621.311:004.056

Калашников В. С., Ткачева Е. Г.
Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ ТИПОВ АРХИТЕКТУР ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Аннотация: Актуальность темы «Анализ соответствия типов архитектур интеллектуальных систем учета электрической энергии нормативным требованиям по обеспечению информационной безопасности критической информационной инфраструктуры» обусловлена рядом факторов. Во-первых, на рынке представлены как двухуровневые, так и трехуровневые архитектуры, каждая из которых имеет специфические особенности реализации. Во-вторых, возникает необходимость соответствия систем учета требованиям регуляторов (ФСТЭК России и ФСБ России). В-третьих, различия в масштабируемости, отказоустойчивости и стоимости внедрения архитектур для бытовых организаций (управляющих компаний, ресурсоснабжающих предприятий).
Настоящая статья направлена на сравнительный анализ двухуровневых и трехуровневых архитектур интеллектуальных систем учета электрической энергии (ИСУЭ) на примере реальных внедрений в бытовом секторе, а также на выявление наиболее распространенного типа и обоснование выбора оптимальной архитектуры для дальнейшего исследования в контексте защиты ИСУЭ как объекта КИИ.
Ключевые слова: интеллектуальная система учета электрической энергии, критическая информационная инфраструктура, информационная безопасность, двухуровневая архитектура ИСУЭ, трехуровневая архитектура ИСУЭ.

Интеллектуальная система учета электрической энергии (ИСУЭ) – совокупность функционально объединенных компонентов и устройств, предназначенная для удаленного сбора, обработки, передачи показаний приборов учета электрической энергии, обеспечивающая информационный обмен, хранение показаний приборов учета электрической энергии, удаленное управление ее компонентами, устройствами и приборами учета электрической энергии, не влияющее на результаты измерений, выполняемых приборами учета электрической энергии, а также предоставление информации о результатах измерений, данных о количестве и иных параметрах электрической энергии в соответствии с правилами предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности), утвержденными Правительством Российской Федерации [1].

Определение архитектуры ИСУЭ и компонентов, подлежащих защите

ИСУЭ построена по клиент-серверной архитектуре и может иметь в соответствии с выполняемыми функциями три функциональных уровня, объединенных между собой посредством применения различных средств и каналов связи [8].

Функциональными уровнями являются:

Верхний уровень ИСУЭ: ИВК – совокупность функционально объединенных программных и технических средств для решения задач сбора, хранения, передачи и обработки данных учета электрической энергии и сопутствующей информации, удаленного управления компонентами системы учета электрической энергии и нагрузкой [2];

Средний уровень ИСУЭ: ИВКЭ – совокупность программных и технических средств для решения задач сбора, хранения, передачи в ИВК и обработки данных учета электрической энергии и сопутствующей информации, удаленного управления ПУ и их нагрузкой [2];

Нижний уровень ИСУЭ: ПУ – средства измерения, представляющие собой программно-аппаратные средства, допущенные в эксплуатацию для целей коммерческого учета электрической энергии на розничных рынках электрической энергии и (или) предоставления коммунальных услуг по электроснабжению и присоединенный к ИСУЭ, и соответствующие требованиям Правил доступа к минимальному набору функций интеллектуального учета электрической энергии (мощности), утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 19.06.2020 № 890 «О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности)» (далее - Правила доступа) [2].

Примеры двухуровневой и трехуровневой структурно-коммуникационной схемы ИСУЭ представлены на Рисунках 1 и 2 соответственно.

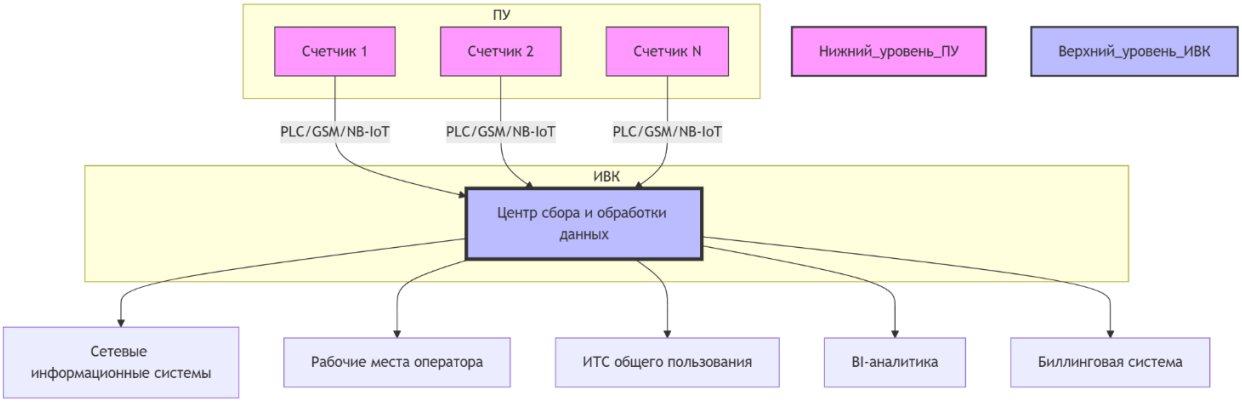


Рисунок 1 – Пример двухуровневой структурно-коммуникационной схемы ИСУЭ

Двухуровневая архитектура ИСУЭ:

В двухуровневой архитектуре выделяются **два основных уровня:**

- Нижний уровень – ПУ.
- Верхний уровень – ИВК.

Ключевые характеристики двухуровневой архитектуры

Данные с ПУ напрямую передаются в ИВК, минуя промежуточные узлы сбора и агрегации информации. Такое решение снижает количество компонентов системы, что, в свою очередь, упрощает её проектирование и развертывание. Отсутствие промежуточных устройств обработки данных также способствует уменьшению общей стоимости системы. Однако при значительном числе ПУ и высоком объёме передаваемых данных прямое взаимодействие с ИВК может привести к перегрузке вычислительных ресурсов и возникновению проблем с пропускной способностью каналов связи. Кроме того, в условиях отсутствия промежуточного уровня усложняется реализация комплексных алгоритмов обработки данных и интеграция с внешними системами.

Примеры применения двухуровневой архитектуры:

- Небольшие распределительные сети с ограниченным количеством потребителей.
- ИСУЭ для отдельных зданий или небольших объектов.

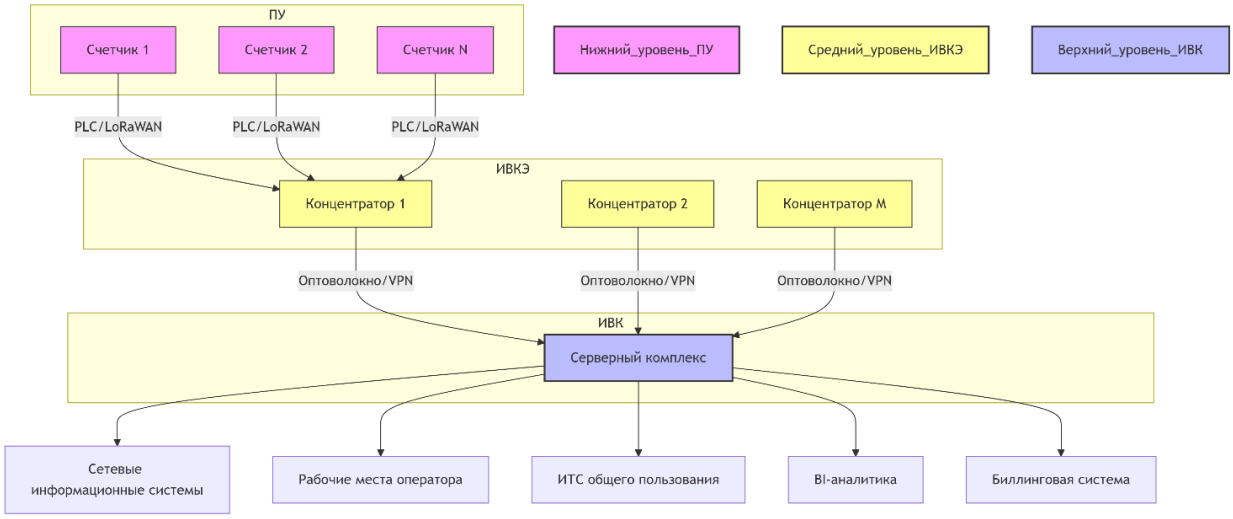


Рисунок 2 – Пример трехуровневой структурно-коммуникационной схемы ИСУЭ

Трехуровневая архитектура ИСУЭ:

В трехуровневой архитектуре выделяются **три основных уровня:**

- Нижний уровень – ПУ.
- Средний уровень – ИВКЭ.
- Верхний уровень – ИВК.

Ключевые характеристики трехуровневой архитектуры

ИВКЭ обеспечивают агрегацию и предварительную обработку данных, поступающих от множества ПУ, тем самым снижая нагрузку на центральный

ИВК. Такая архитектура позволяет подключать значительно большее количество ПУ без риска перегрузки вычислительных ресурсов основного комплекса. Кроме того, наличие промежуточного уровня обработки предоставляет расширенные возможности для реализации сложных алгоритмов анализа, фильтрации и предварительной интерпретации данных. ИВКЭ также обеспечивают поддержку различных протоколов обмена информацией на среднем уровне, что повышает гибкость интеграции системы с внешними компонентами и платформами. Вместе с тем включение дополнительного уровня обработки данных увеличивает совокупную стоимость системы и требует более тщательного проектирования, настройки и последующего обслуживания инфраструктуры.

Примеры применения трехуровневой архитектуры:

- Крупные распределительные сети с большим количеством потребителей.
- ИСУЭ для целых районов, городов и регионов.
- Системы, требующие сложных алгоритмов обработки данных и интеграции с другими системами [7].

ИВК обеспечивает**:**

- дистанционное считывание, накопление, обработка и хранение данных об энергопотреблении, параметрах настройки ИВК и приборов учета (ПУ), а также журналов событий. Результаты измерений визуализируются;
- управление ПУ в двухуровневой (прямое подключение к ИВК) и трехуровневой (через ИВКЭ) схемах;
- изменение параметров конфигурации ИВКЭ и ПУ, а также обновление программного обеспечения [7].

ИВКЭ обеспечивает:

- дистанционный сбор, обработку, хранение и отображение данных о потреблении электроэнергии, параметрах настройки ПУ и журналов событий;
- управление ПУ, подключенными к ИВКЭ;
- изменение настроек конфигурации ПУ и обновление их программного обеспечения [7].

В ИВК, ИВКЭ и ПУ обеспечивается многопользовательский режим обработки информации, в том числе путем предоставления доступа по ИТС общего пользования.

В ИСУЭ на уровне ИВК в случае наличия такой потребности могут обрабатываться персональные данные.

Эксплуатация оборудования ИВК выполняется в пределах границ контролируемой зоны. ИВКЭ и ПУ могут размещаться вне границ контролируемой зоны.

В зависимости от условий эксплуатации программные и технические элементы ИВК могут быть территориально распределены по различным центрам сбора и обработки данных.

В зависимости от условий эксплуатации и наличия такой потребности ИВК могут взаимодействовать с различными смежными системами.

Анализ соответствия требованиям КИИ

Нормативные требования к системам учета

С введением в действие Федерального закона № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры» к системам учета электроэнергии стали предъявляться дополнительные требования по информационной безопасности. Особенно это касается крупных энергосбытовых компаний, чьи системы были отнесены к 1-2 категориям значимости КИИ [3].

Приказ ФСТЭК России № 239 устанавливает конкретные требования к защите таких систем. Согласно документу, системы учета должны обеспечивать [4]:

- шифрование передаваемых данных с использованием сертифицированных алгоритмов;
- контроль целостности информации на всех этапах ее обработки;
- защиту от несанкционированного доступа;
- резервирование каналов связи и основных компонентов системы.

Соответствие трехуровневых архитектур требованиям КИИ

Трехуровневые архитектуры в целом лучше соответствуют требованиям КИИ благодаря своей распределенной природе. Например, система ПАО «Россети» полностью соответствует всем положениям Приказа ФСТЭК России № 239 [4]. В ней реализовано:

- ГОСТ-шифрование данных на всех уровнях передачи [6];
- сегментация сети с использованием VLAN между уровнями системы;
- дублирование каналов связи (основной - оптоволоконный, резервный - VPN через интернет) [6];
- использование HSM-модулей для хранения ключей шифрования.

По данным отчета о проверке системы в 2023 году, проведенной ФСТЭК России уровень защищенности системы был оценен как «высокий» с выполнением 97% требований стандартов КИИ.

Соответствие двухуровневых архитектур требованиям КИИ

Двухуровневые системы сталкиваются с большими сложностями при приведении в соответствие с требованиями КИИ. Основные проблемы связаны с:

- отсутствием промежуточных звеньев для буферизации данных;
- прямым подключением большого количества устройств к центральному серверу;

- ограниченными возможностями по сегментации сети.

Тем не менее, некоторые компании находят компромиссные решения. Например, АО «Мосэнергосбыт» для соответствия требованиям КИИ внедрила кластерную организацию серверного комплекса, организовала VPN-туннели для связи со счетчиками, использует облачные решения с сертификацией ФСТЭК.

Однако, как отмечается в заключении проверки 2023 года, такая система соответствует только 3 категории КИИ и требует доработок для повышения уровня защищенности.

Список литературы:

1. Федеральный закон от 26.03.2003 г. № 35-ФЗ «Об электроэнергетике»;
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 19.06.2020 г. № 890 «О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности)»;
3. Федеральный закон от 26.07.2017 г. № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации»;
4. Приказ ФСТЭК России от 25.12.2017 г. № 239 «Об утверждении Требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации»;
5. Приказ ФСБ России от 10 июля 2014 г. № 378 «Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных с использованием средств криптографической защиты информации, необходимых для выполнения установленных Правительством Российской Федерации требований к защите персональных данных для каждого из уровней защищенности»;
6. Приказ Минцифры России от 30.12.2020 г. № 788 «Об утверждении перечня и спецификации защищенных протоколов передачи данных, которые могут быть использованы для организации информационного обмена между компонентами интеллектуальной системы учета электрической энергии (мощности) и приборами учета электрической энергии, которые могут быть присоединены к такой системе»;
7. «Базовая модель угроз безопасности информации в интеллектуальных системах учета электрической энергии (мощности)»;
8. Статья «ФСБ и Минэнерго обсуждают защиту умных систем учета электроэнергии от кибератак» [Электронный источник: URL: https://telesputnik.ru/materials/gov/news/fsb-i-minenergo-obsuzdayut-zashhitu-umnyx-sistem-uceta-elektroenergii-ot-kiberatak] – дата обращения: 10.10.2025 г.

УДК 004.056.55:340.13

Калашников В. С., Ткачева Е. Г.
Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННЫХ ДОВЕРЕННОСТЕЙ И СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Аннотация: Настоящая статья посвящена анализу современных проблем применения машиночитаемых доверенностей, включая нормативные, технические и организационные вызовы. Рассмотрены ключевые законодательные акты (Федеральный закон от 06.04.2011 г. № 63 «Об электронной подписи», приказы Минцифры России и Федеральной налоговой службы) и научные исследования, выявляющие пробелы в регулировании. Особое внимание уделено отсутствию единых форматов, юридическим коллизиям при передоверии и несовершенству классификаторов полномочий. Предложены решения: унификация форматов, интеграция блокчейн-технологий и автоматизация процессов через корпоративные сервисы. Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования нормативно-правовой базы и информационной инфраструктуры.

Ключевые слова: машиночитаемые доверенности, электронный документооборот, цифровизация, электронная подпись, нормативное регулирование, блокчейн.

Анализ текущего состояния применения машиночитаемых доверенностей

Доверенность – это письменное разрешение, которое одно лицо предоставляет другому (или нескольким лицам) для представления его интересов перед третьими сторонами. Как и любой другой документ, доверенность может быть оформлена в электронном виде и подписана электронной подписью, если соблюдены все необходимые требования [2].

Появление понятия машиночитаемой доверенности в законодательстве обусловлено необходимостью подтверждать полномочия представителей юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, государственных и муниципальных органов при осуществлении электронного документооборота с использованием документов, которые подписываются усиленной квалифицированной электронной подписью (далее – УКЭП). С 1 января 2022 года в отношениях, связанных с использованием УКЭП, удостоверяющие центры ФНС России выдают юридическим лицам (с некоторыми исключениями) квалифицированные сертификаты ключа проверки электронной подписи (ЭП), где в качестве владельца указывается и лицо, имеющее право действовать от имени организации без доверенности [2].

Доверенности, подтверждающие полномочия представителей юридических лиц и ИП при подписании электронных документов УКЭП этих

представителей, оформляются в соответствии с требованиями Гражданского Кодекса РФ. Доверенность может быть представлена также в электронной форме в машиночитаемом виде в соответствии с формами доверенностей, которые могут быть определены и размещены на официальных сайтах операторами государственных и муниципальных информационных систем, для использования которых представляются документы, а также Центральным банком РФ (Банком России) на его официальном сайте в Интернете в отношении доверенностей, которые выдаются отдельными категориями юридических лиц и ИП, и Федеральной нотариальной палатой в отношении нотариально удостоверенных доверенностей. Если формы доверенностей не определены и не размещены, применяется форма доверенности, которая формируется и размещается уполномоченным федеральным органом (Минцифры России) на едином портале государственных и муниципальных услуг. Указанные формы доверенностей должны соответствовать единым требованиям, устанавливаемым Минцифры России [3].

Единые требования к формам доверенностей, необходимым для использования квалифицированной электронной подписи, были утверждены приказом Минцифры России от 18.08.2021 г. № 857. В частности, согласно пункту 1 Единых требований, доверенность создаётся в электронной форме в формате XML и подписывается с помощью УКЭП в формате XMLDSIG, или в соответствии с форматом электронной подписи, обязательным для реализации всеми средствами электронной подписи (согласно приказу Минцифры России от 14.09.2020 г. № 472). Содержание доверенности должно соответствовать пункту 2 Единых требований [4,5,6].

Машиночитаемая доверенность может быть получена в пакете электронных документов либо из информационной системы, в которую ее направляет лицо, выдавшее такую доверенность, и в которой эта доверенность хранится.

Таким образом, машиночитаемая доверенность (МЧД) – это доверенность в электронной форме, которая подтверждает полномочия представителей юридических лиц и ИП на подписание электронных документов от имени соответственно организации или предпринимателя усиленной квалифицированной подписью такого представителя. Необходимость оформлять машиночитаемую доверенность возникла в связи с тем, что в квалифицированных сертификатах ключа проверки ЭП, выдаваемых организациям и ИП, больше не будут указываться данные их представителей, у которых нет полномочий действовать от имени юридического лица или индивидуального предпринимателя без доверенности. МЧД составляется в виде структурированного документа в XML-формате, ее действительность может быть проверена специальными программными средствами в соответствующих информационных системах.

Отсутствие единых стандартов

Актуальной проблемой внедрения МЧД остается отсутствие унифицированного формата, признаваемого всеми государственными органами. На текущий момент наблюдается ведомственная фрагментация стандартов [1]:

- ФНС России использует специализированные форматы (5.01 и 5.02);
- иные осорганы применяют собственные технические решения;
- Минцифры России разработало общие форматы 002 и 003, различающиеся лимитами описания полномочий (1 000 и 10 000 символов соответственно).

Несмотря на попытки стандартизации, форматы 002/003 не получили повсеместного применения в государственных информационных системах. Это создает сложности для бизнеса, вынужденного адаптировать МЧД под требования каждого ведомства [1].

Вопросы безопасности и защиты данных

Конфиденциальность данных, содержащихся в машиночитаемых доверенностях, является одной из ключевых проблем при их использовании. Утечка данных может привести к раскрытию личной информации, что нарушает права граждан и снижает доверие к технологии. Для решения этой проблемы необходимо внедрение строгих политик конфиденциальности, а также использование шифрования данных и других методов защиты.

Несанкционированный доступ и подделка машиночитаемых доверенностей представляют серьезную угрозу для их использования. Эти риски обусловлены недостаточной защитой систем, что может привести к значительным убыткам и правовым последствиям. Внедрение технологий, таких как многофакторная аутентификация и блокчейн, может значительно снизить риски несанкционированного доступа и подделки.

Современные технологии, такие как блокчейн, играют ключевую роль в обеспечении безопасности машиночитаемых доверенностей. Блокчейн создает неизменяемую и прозрачную запись данных, что делает подделку невозможной. Использование искусственного интеллекта для обнаружения аномалий и угроз в реальном времени также может значительно повысить уровень защиты. При этом «в таких системах принципиально важным становится функциональная надежность, что требует создания соответствующей доверенной среды». Эти подходы подразумевают активное внедрение и поддержку со стороны как государственных органов, так и частного сектора, чтобы обеспечить надежность и доверие к машиночитаемым доверенностям.

Риски мошенничества и утечек информации

Мошенничество в контексте машиночитаемых доверенностей представляет собой значительный риск, обусловленный возможностью

подделки или несанкционированного использования доверенностей. Киберпреступники могут использовать уязвимости в системах для создания фальшивых доверенностей, что приводит к незаконным действиям от имени доверителя. Для предотвращения таких угроз необходимы строгие меры контроля и верификации данных.

Анализ внедрения электронного документооборота демонстрирует, что, несмотря на положительные аспекты, риски утечек информации остаются актуальными. Это связано с недостаточной настройкой доступа к документам. Утечки могут происходить как из-за уязвимостей систем, так и по причине человеческого фактора. Поэтому необходимо внедрение современных методов защиты информации, таких как шифрование и мониторинг доступа.

Использование блокчейн-технологий для защиты данных

Одним из ключевых преимуществ блокчейн-технологий является их способность обеспечивать высокую степень защиты данных. Блокчейн представляет собой распределенный реестр, где каждая запись защищена криптографически и связана с предыдущими записями. Это делает практически невозможным изменение данных без согласия всех участников сети. Такая архитектура предоставляет высокий уровень устойчивости к кибератакам и гарантирует целостность информации.

Примером успешного применения блокчейн-технологий является внедрение их правительством Эстонии для защиты данных в цифровых услугах. В 2021 году эта технология была интегрирована в систему электронного голосования, что обеспечило прозрачность и надежность процесса. Использование неиерархических пиринговых P2P блокчейн-структур позволяет осуществлять доверенную обработку данных и документов, что особенно актуально для машиночитаемых доверенностей. Кроме того, блокчейн активно используется в различных отраслях, включая финансы и здравоохранение, для защиты персональных данных. Эти примеры демонстрируют, как блокчейн может быть эффективно применен для повышения уровня безопасности и доверия к цифровым системам, учитывая многообразие его возможностей.

Разработка систем аутентификации и шифрования

Современные цифровые системы требуют надежных методов аутентификации для предотвращения несанкционированного доступа. Одним из ключевых подходов является многофакторная аутентификация, которая включает использование нескольких независимых факторов проверки, таких как пароли, биометрические данные и одноразовые коды. Внедрение биометрических технологий, таких как распознавание лиц и отпечатков пальцев, а также использование аппаратных токенов, значительно повышает уровень безопасности, снижая вероятность компрометации данных.

Шифрование играет ключевую роль в защите данных, особенно в условиях растущих угроз кибербезопасности. Современные алгоритмы

шифрования, такие как AES и RSA, обеспечивают высокий уровень защиты, делая данные практически недоступными для злоумышленников. Кроме того, технология шифрования с использованием квантовых ключей, которая уже активно тестируется в ряде стран, включая Китай и США, предоставляет еще более высокий уровень защиты, благодаря своей устойчивости к атакам с использованием квантовых компьютеров. Эти инновационные подходы к шифрованию данных являются важным шагом на пути к созданию безопасных цифровых систем, включая машиночитаемые доверенности, и способствуют снижению рисков утечек информации.

На основе проведённого анализа рекомендуется уделить особое внимание разработке и внедрению новых законодательных норм и стандартов, регулирующих использование машиночитаемых доверенностей. Также важно активизировать исследования в области применения современных технологий, таких как блокчейн и усовершенствованные методы шифрования, для повышения безопасности и доверия к данным инструментам.

Список литературы:

1. Николаева А., Осиненко Е. «Какие проблемы из-за перехода на МЧД приходится решать юристам: опыт X5 Group» // Юрист компании №8. – 2024. [Электронный ресурс]. – URL: https://e.law.ru/1096074;
2. «Энциклопедия решений. Машиночитаемая доверенность». [Электронный ресурс]. – URL: https://base.garant.ru/58075157/;
3. Приказ Минцифры России от 18.08.2021 г. № 856 (ред. от 03.10.2022 г.) «О порядке формирования, актуализации классификатора полномочий и обеспечения доступа к нему» (Зарегистрировано в Минюсте России 08.10.2021 № 65350);
4. Приказ Минцифры России от 18.08.2021 г. № 857 «Об утверждении единых требований к формам доверенностей, необходимых для использования квалифицированной электронной подписи» (Зарегистрировано в Минюсте России 08.10.2021 г. № 65353);
5. Приказ Минцифры России от 18.08.2021 г. № 858 «Об утверждении единых требований к машиночитаемым формам документов о полномочиях» (Зарегистрировано в Минюсте России 08.10.2021 г. № 65351);
6. Приказ Минцифры России от 14.09.2020 № 472 «Об утверждении Формата электронной подписи, обязательного для реализации всеми средствами электронной подписи».

УДК 004.42+004.4

Куликов К. А.[1,2]
[1]*Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), Москва, Россия*
[2]*ПАО «Банк ПСБ, Москва, Россия*

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ ОТ МОНОЛИТНОЙ К МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЕ

Аннотация. В статье рассматривается эволюция архитектурных паттернов в области разработки программного обеспечения, а именно процесс трансформации монолитных приложений в системы, основанные на микросервисной архитектуре. Анализируются ключевые драйверы данной трансформации, включая требования к масштабируемости, гибкости и отказоустойчивости. Подробно исследуются методологические подходы к декомпозиции монолита, сопутствующие технологические вызовы и правовой контекст, связанный с обработкой данных в распределенных системах. Делается вывод о комплексном характере миграции, требующем глубокого пересмотра не только технологического стека, но и организационной структуры команд разработки.

Ключевые слова: программная архитектура, монолит, микросервисы, декомпозиция, масштабируемость, непрерывная интеграция и доставка, нормативно-правовое регулирование.

Цель исследования – установить особенности трансформации приложений от монолитной к микросервисной архитектуре. Проблема исследования состоит в том, что трансформация приложений от монолитной к микросервисной архитектуре представляет собой сложный процесс, обусловленный необходимостью повышения гибкости, масштабируемости и скорости разработки программного обеспечения.

Современная цифровая экономика предъявляет повышенные требования к бизнес-приложениям, которые должны оперативно адаптироваться к изменяющимся рыночным условиям и пользовательским запросам. Традиционная монолитная архитектура, в которой все компоненты приложения тесно связаны и развертываются как единое целое, зачастую становится препятствием для обеспечения необходимой скорости разработки и масштабируемости. В качестве ответа на эти вызовы получила распространение микросервисная архитектура – стиль проектирования, при котором приложение структурируется как набор слабосвязанных, независимо развертываемых сервисов, реализующих отдельные бизнес-возможности.

Монолитная архитектура характеризуется высокой степенью связности компонентов, объединенных в единую кодовую базу и процесс выполнения. Это упрощает первоначальную разработку, отладку и развертывание. Однако по мере роста приложения монолит демонстрирует ряд существенных недостатков. К ним относятся сложность внесения изменений в одну часть

приложения без риска нарушения работы других модулей, длительный цикл тестирования, низкая отказоустойчивость и ограниченные возможности горизонтального масштабирования. Необходимость масштабировать весь монолит для увеличения производительности отдельной функции приводит к нерациональному использованию вычислительных ресурсов. Микросервисная архитектура предлагает альтернативный подход, основанный на принципах модульности и слабой связности. Каждый микросервис инкапсулирует определенную бизнес-функцию, такую как «Управление заказами», «Аутентификация пользователей» или «Обработка платежей». Сервисы взаимодействуют друг с другом через стандартизированные легковесные протоколы, преимущественно HTTP/REST или с использованием асинхронных сообщений. Такая организация позволяет независимо разрабатывать, тестировать, развертывать и масштабировать каждый компонент системы.[1].

Переход от монолита к микросервисам не является тривиальной задачей и требует стратегического планирования. Наиболее распространенной методологией декомпозиции является анализ ограниченных контекстов, предложенный в рамках предметно-ориентированного проектирования. Данный подход предполагает выделение автономных сервисов на основе бизнес-возможностей, что позволяет минимизировать межсервисные зависимости. На практике трансформация часто осуществляется пошагово, с использованием стратегии Strangler Fig Application, которая предполагает постепенное вытеснение функциональности монолита путем создания новых микросервисов. Пользовательские запросы начинают перенаправляться к новым сервисам, в то время как монолит продолжает обслуживать оставшиеся функции до их полной миграции. Такой подход снижает риски, позволяя проводить трансформацию без остановки основного приложения.

Как подчеркивает Воротников, И. С., адопция микросервисной архитектуры сопряжена с рядом технологических сложностей. Во-первых, возникает проблема организации взаимодействия между сервисами. Для ее решения применяются шаблоны API Gateway, который выступает единой точкой входа для клиентов, и Service Discovery, обеспечивающий динамическую маршрутизацию запросов в условиях постоянно меняющейся топологии сети. Во-вторых, распределенная природа микросервисов усложняет обеспечение целостности данных. Традиционные транзакции с жесткой согласованностью заменяются на модель конечной согласованности и применяется паттерн Saga для управления распределенными транзакциями. В-третьих, резко возрастает сложность операционной деятельности. Управление сотнями развертываний, мониторинг состояния системы, агрегация логов и обработка инцидентов требуют внедрения sophisticated-инструментов, таких как контейнеризация, оркестрация, системы распределенного трейсинга и централизованного мониторинга[2].

В нормативно-правовом контексте при разработке и трансформации программных продуктов следует учитывать положения федерального закона "Об информации, информационных технологиях и защите информации" № 149-ФЗ, регламентирующего безопасность информационных систем, а также стандарты ГОСТ Р 56939-2016 по информационной безопасности и ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2013, регулирующие системы управления информационной безопасностью. При проектировании микросервисов важны нормативные требования к обеспечению разграничения доступа, защиты данных и непрерывности бизнес-процессов, что достигается применением механизмов контейнеризации, оркестрации (например, Kubernetes), и автоматического тестирования[3].

Трансформация архитектуры начинается с оценки существующего монолитного приложения, выявления узких мест и потенциальных функциональных модулей для выделения в виде микросервисов. Далее следует этап декомпозиции и разработки интерфейсов взаимодействия между микросервисами, что сопровождается интеграцией API Gateway как единой точки входа. Особое внимание уделяется организации системы логирования, мониторинга и управления конфигурациями. Одним из основных вызовов является обеспечение согласованности данных и транзакционной непрерывности, что требует внедрения паттернов саги и асинхронной обработки событий. Переход к микросервисной архитектуре обуславливается необходимостью поддержки облачных вычислений, цифровой трансформации и ускорения выпуска обновлений при сохранении высокого уровня надежности. В отличие от монолита, микросервисы облегчают масштабирование отдельных компонентов системы и позволяют применять разнообразные технологии и языки программирования, что способствует инновационности и адаптивности приложений. Однако данный процесс требует значительных усилий в области перепроектирования, автоматизации CI/CD, а также подготовки персонала и адаптации корпоративных стандартов разработки.

Радостев, Д. К., Никитина, Е. Ю. пишут о том, что переход от монолитной к микросервисной архитектуре связан с рядом рисков, которые необходимо учитывать при трансформации приложений. Прежде всего, сложность разбиения на сервисы представляет собой значительную проблему: неправильное, не продуманное деление может привести к созданию микросервисов, которые оказываются слишком большими или, наоборот, слишком мелкими, что снижает эффективность системы и усложняет её поддержку. Операционная сложность возрастает, так как каждый микросервис имеет свою конфигурацию и запускается как самостоятельный процесс или контейнер, что значительно усложняет процессы развертывания, обновления и мониторинга по сравнению с единым монолитом. Для управления микросервисами необходимо использовать специализированные инструменты

оркестрации, такие как Kubernetes, что требует дополнительных усилий и компетенций у команды DevOps. С точки зрения организационных изменений, переход к микросервисной архитектуре требует перестройки рабочих процессов и культуры команд. Каждая команда становится автономной и отвечает за свой сервис, что может вызвать сложности в координации, а также конфликты из-за использования разных технологий и подходов. Такой сдвиг требует высокого уровня зрелости управления проектами и четкого определения зон ответственности, а также внедрения практик DevOps и автоматизации CI/CD для обеспечения стабильности и согласованности системы[4].

К техническим рискам относится усложнение интеграции между сервисами, так как микросервисы взаимодействуют по сети, что увеличивает вероятность возникновения проблем с задержками, сбоев связи и требует реализации повышенных мер безопасности, включая соблюдение законодательных норм по защите информации (например, Федеральный закон № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации»). Поддержка консистентности данных и транзакционной целостности становится сложнее, что требует внедрения специальных паттернов распределённых систем и асинхронной обработки событий. Микросервисная архитектура хотя и обладает преимуществами адаптивного масштабирования, повышения отказоустойчивости и ускорения циклов разработки, тем не менее требует существенно больших ресурсов на поддержку инфраструктуры и квалификацию персонала. Это может привести к накоплению технического долга и снижению общей устойчивости системы при недостаточно зрелом подходе к разработке и эксплуатации[5].

Таким образом, Трансформация монолитного приложения в микросервисную архитектуру представляет собой комплексный организационно-технологический процесс, направленный на повышение гибкости, масштабируемости и отказоустойчивости программных систем. Несмотря на очевидные преимущества, данный переход сопряжен со значительными сложностями, включающими необходимость глубокой декомпозиции предметной области, преодоление технологических барьеров, связанных с распределенными системами, и построение соответствующей инфраструктуры. Критически важным аспектом является учет нормативно-правовых требований к защите и обработке данных в распределенной среде. Успешная миграция требует не только внедрения новых технологий, но и трансформации процессов разработки и эксплуатации, часто в сторону моделей DevOps, а также пересмотра организационной структуры команд в соответствии с принципом Conway's Law. Таким образом, решение о переходе к микросервисной архитектуре должно приниматься на основе тщательного анализа бизнес-потребностей, технико-экономического обоснования и оценки операционных рисков.

Список литературы:

1. Кабарухин, А.П. ВЫГОДЫ ПЕРЕХОДА ОТ МОНОЛИТНОЙ К МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЕ ПРИЛОЖЕНИЯ // Проблемы Науки. 2022. №1 (170). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vygody-perehoda-ot-monolitnoy-k-mikroservisnoy-arhitekture-prilozheniya (дата обращения: 24.11.2025).

2. Воротников, И.С. Эволюция архитектурных стилей при разработке информационных систем: от монолитных приложений к микросервисной архитектуре / И.С. Воротников, В. В. Шпак. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2023. — № 50 (497). — С. 10-14.

3. Холодок, Д.А., Пресняцкий, В.Ю., Лецук, Р.А. Микросервисы как архитектурный стиль / / Образование и наука в России и за рубежом, 2019. Ц (62). С. 2Ц 218.

4. Радостев, Д.К., Никитина, Е. Ю. СТРАТЕГИЯ МИГРАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОДА ИЗ МОНОЛИТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ В МИКРОСЕРВИСЫ // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2021. №2 (53). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/strategiya-migratsii-programmnogo-koda-iz-monolitnoy-arhitektury-v-mikroservisy (дата обращения: 24.11.2025).

5. Кугушева, Д.С. Проектирование сложного программного обеспечения с использованием микросервисной архитектуры // Инновации и инвестиции. 2020. №5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-slozhnogo-programmnogo-obespecheniya-s-ispolzovaniem-mikroservisnoy-arhitektury (дата обращения: 24.11.2025).

УДК 004.42

Куликов К. А.[1,2]
[1]*Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), Москва, Россия*
[2]*ПАО «Банк ПСБ, Москва, Россия*

СТРАТЕГИИ ДЕКОМПОЗИЦИИ МОНОЛИТА И ВЫЯВЛЕНИЕ ГРАНИЦ МИКРОСЕРВИСОВ

Аннотация. Статья посвящена комплексному анализу стратегических подходов к декомпозиции монолита, рассматривая данный процесс не только как техническую задачу, но и как организационно-технологический вызов. В работе систематизируются ключевые методологии выделения границ микросервисов, включая анализ доменной предметной области, декомпозицию на основе бизнес-возможностей и выделение поддоменов в соответствии с принципами предметно-ориентированного проектирования. Особое внимание уделяется роли нормативно-правовых актов, в частности, Федерального закона от 27.07.2006 N 152-ФЗ «О персональных данных», и стандартов, таких как ГОСТ Р 57580.1-2017 «Безопасность финансовых операций», в формировании требований к изоляции данных и определению контекстов ограниченных контекстов, что является неотъемлемой частью проектирования отказоустойчивых и compliant-систем. Доказывается, что успешная декомпозиция возможна лишь при симбиозе технологических решений, глубокого понимания бизнес-логики и строгого соблюдения регуляторных требований.

Ключевые слова: микросервисная архитектура, декомпозиция монолита, ограниченный контекст, предметно-ориентированное проектирование (DDD), нормативно-правовое регулирование, цифровая трансформация.

Цель исследования – установить особенности стратегии декомпозиции монолита и выявления границ микросервисов. Проблема исследования состоит в том, что стратегии декомпозиции монолитной архитектуры приложений на микросервисы представляют собой ключевой этап перехода к более гибкой и масштабируемой системе. Основные подходы включают выделение микросервисов по бизнес-контекстам, функциональности, пользовательским потокам и по данным. Выявление границ микросервисов базируется на создании автономных, слабо связанных сервисов с четко определенными границами ответственности, что снижает взаимозависимость и повышает масштабируемость системы.

Современная эволюция программной инженерии характеризуется устойчивой тенденцией к построению сложных, масштабируемых и высокодоступных распределенных систем. Монолитные архитектуры, в которых все функциональные модули тесно связаны и развертываются как единое целое, перестают удовлетворять требованиям динамично развивающегося бизнеса, обуславливая возникновение «антипаттернов»: низкой сопровождаемости, длительных циклов развертывания,

технологического долга и ограничений горизонтального масштабирования. Однако процесс трансформации монолита в ансамбль микросервисов сопряжен со значительными рисками и сложностями. Ключевым вызовом является корректное определение границ между сервисами. Ошибочное выделение границ приводит к возникновению тесных связей между сервисами, необходимостью частых межсервисных коммуникаций, дублированию данных и, в конечном итоге, к формированию так называемого «распределенного монолита» — системы, обладающей всеми недостатками монолитной архитектуры, но при этом усложненной проблемами распределенных систем. Таким образом, выбор адекватной стратегии декомпозиции является детерминирующим фактором успеха всей архитектурной миграции[1].

Декомпозиция монолита не является сугубо технической операцией; это комплексный процесс, требующий тесного взаимодействия архитекторов, разработчиков и экспертов в предметной области (domain experts). Стратегии декомпозиции можно условно классифицировать на несколько фундаментальных направлений.

Как отмечает в своей статье Точилин, Ф. М., одной из наиболее распространенных и прагматичных стратегий является декомпозиция на основе бизнес-возможностей (Business Capability Decomposition). В рамках данного подхода границы сервисов определяются в соответствии с ключевыми бизнес-функциями, которые организация предоставляет своим клиентам или использует для внутренних нужд. Например, в системе электронной коммерции могут быть выделены сервисы «Управление каталогом товаров», «Обработка заказов», «Управление складом», «Платежный шлюз». Каждый такой сервис отвечает за законченный бизнес-процесс. Преимуществом данного метода является прямая корреляция между организационной структурой компании и архитектурой программного обеспечения, что способствует независимости команд разработки и ускорению вывода новых функциональных возможностей на рынок[2].

Более формализованным и концептуально строгим подходом выступает использование принципов предметно-ориентированного проектирования (Domain-Driven Design, DDD). DDD предлагает аппарат для анализа сложных доменов и их структурирования. Ключевыми концепциями DDD применительно к декомпозиции являются «Ограниченный контекст» (Bounded Context) и «Поддомен» (Subdomain). Ограниченный контекст определяет границы, в пределах которых конкретная модель предметной области является согласованной и имеет строго определенную семантику. Выделение ограниченных контекстов позволяет разбить сложную предметную область на более управляемые части, каждая из которых может быть реализована в виде отдельного микросервиса. При этом различают поддомены ядра (Core Subdomains), представляющие уникальные конкурентные преимущества

бизнеса, поддерживающие поддомены (Supporting Subdomains) и общие поддомены (Generic Subdomains), которые могут быть решены с помощью готовых сторонних решений. Фокусирование усилий на поддоменах ядра и выделение их в отдельные сервисы является стратегически верным решением.

Еще одним практически значимым методом является декомпозиция на основе доменных моделей или путем анализа транзакций. Этот подход предполагает изучение существующей базы данных монолита, выявление групп сущностей, которые часто изменяются вместе (принцип Common Closure Principle), и анализ паттернов доступа к данным. Если две сущности практически всегда участвуют в одной транзакции, их разделение между разными сервисами может привести к значительным накладным расходам на обеспечение распределенной транзакции. Следовательно, такие сущности являются кандидатами на размещение в пределах одного сервиса[3].

В современных условиях проектирование программных систем, особенно в таких регулируемых отраслях, как финансы, здравоохранение и государственный сектор, невозможно без учета нормативно-правового контекста. Требования законодательства могут и должны напрямую влиять на архитектурные решения, в частности, на определение границ микросервисов.

Ярким примером является обработка персональных данных. В Российской Федерации Федеральный закон от 27.07.2006 N 152-ФЗ «О персональных данных» устанавливает строгие требования к безопасности и конфиденциальности такой информации. В соответствии со статьей 19 данного закона, оператор персональных данных обязан принимать необходимые организационные и технические меры для защиты данных от неправомерного или случайного доступа. С архитектурной точки зрения это транслируется в требование изоляции сервисов, работающих с персональными данными. Логичным решением является выделение отдельного микросервиса «Управление персональными данными», который инкапсулирует всю логику их обработки, хранения и обеспечения безопасности. Такой сервис становится единственной точкой входа для операций с конфиденциальной информацией, что упрощает аудит, контроль доступа и соблюдение требований регулятора. Попытка распределить логику работы с персональными данными по нескольким сервисам (например, сервису пользователей, сервису заказов) резко повышает риски утечки и усложняет процедуру доказательства соответствия[4].

Аналогичным образом, в финансовой сфере стандарты, такие как ГОСТ Р 57580.1-2017 «Безопасность финансовых операций. Процессы обеспечения безопасности информации в организациях, осуществляющих деятельность на финансовом рынке. Часть 1. Общие положения», предъявляют требования к сегментации сетей, протоколированию и управлению доступом. Это может обусловить необходимость выделения критически важных операций, например, проведения платежей, в изолированный сервис, развернутый в

защищенном сегменте сети (DMZ), с особым режимом мониторинга и аутентификации. Таким образом, регуляторные акты выступают в роли внешних ограничений, которые помогают идентифицировать естественные границы сервисов, основанные на различиях в политиках безопасности и уровнях доверия.

Наиболее распространенные стратегии декомпозиции включают:

- Подход по бизнес-ограниченным контекстам (bounded contexts), где каждый микросервис реализует отдельный бизнес-подконтекст, что соответствует концепции предметно-ориентированного проектирования (DDD).
- Подход по функциональности, при котором система делится на сервисы, отвечающие за конкретный функционал или набор функций.
- Декомпозиция по данным, ориентированная на разделение по отдельным наборам данных и связанным им операциям.
- Декомпозиция по пользовательским потокам, основанная на разделении в соответствии с потоками пользовательских действий.

Выявление границ микросервисов требует глубокого анализа бизнес-процессов и структуры данных, что помогает достичь высокой автономности и минимизации зависимости между сервисами. Важным аспектом является также организация взаимодействия между микросервисами через асинхронные и синхронные коммуникации, использование событий и подходов типа CQRS для управления согласованностью данных и транзакциями. Существуют также практические подходы миграции, такие как Strangler-паттерн, предполагающий постепенный перенос функционала из монолита в микросервисы с возможностью отката при необходимости. Этот подход позволяет плавно и безопасно осуществлять декомпозицию, избегая резких изменений и потерь функциональности[5].

Таким образом, проблема декомпозиции монолитной архитектуры и выявления границ микросервисов представляет собой многогранную задачу, находящуюся на стыке технологий, бизнес-анализа и юриспруденции. Успешное ее решение невозможно без применения системного подхода, сочетающего несколько стратегий. Декомпозиция на основе бизнес-возможностей обеспечивает выравнивание архитектуры и организационной структуры. Применение методологии предметно-ориентированного проектирования предоставляет строгий концептуальный аппарат для анализа сложных доменов и выделения ограниченных контекстов. При этом нормативно-правовые акты, такие как Федеральный закон «О персональных данных» и отраслевые стандарты безопасности, выступают в роли внешних драйверов, накладывающих дополнительные архитектурные ограничения и способствующих выделению сервисов с особыми требованиями к безопасности и изоляции. Дальнейшие исследования в данной области могут быть направлены на формализацию метрик для оценки качества выделенных

границ сервисов, а также на разработку методов автоматизированного анализа кодовой базы монолита и его базы данных для поддержки принятия архитектурных решений.

Список источников:

1. Маличенко, С.В. Проблемы перехода от монолитной к микросервисной архитектуре // Евразийский научный журнал. 2022. №5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-perehoda-ot-monolitnoy-k-mikroservisnoy-arhitekture (дата обращения: 24.11.2025).
2. Точилин, Ф.М. Микросервисная архитектура vs Монолит: стратегии выбора для современных приложений // Актуальные исследования. 2025. №46 (281). URL: https://apni.ru/article/13550-mikroservisnaya-arhitektura-vs-monolit-strategii-vybora-dlya-sovremennyh-prilozhenij.
3. Селезнёв, А.И. Актуальность применения микросервисной архитектуры в системах обработки данных / А.И. Селезнёв, И.Л. Селезнёв. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2023. — № 48 (495). — С. 22-32.
4. Чикалева, Ю.С. Анализ гранулярности микросервисов: эффективность архитектурных подходов // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 2. С. 79-93.
5. Кравченко, Д.А. МИКРОСЕРВИСНАЯ АРХИТЕКТУРА // Интерактивная наука. 2022. №4 (69). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/mikroservisnaya-arhitektura (дата обращения: 24.11.2025).

УДК 004.42+004.415.2

Бакайкина В. Г., Богатина В. А., Федоров В. М.
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара,Россия

МИКРОСЕРВИСНАЯ АРХИТЕКТУРА VS MONOLITH: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НА ПРИМЕРЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ

Аннотация: В статье проводится сравнительный анализ двух архитектурных подходов — монолитной и микросервисной архитектуры — в контексте разработки веб-приложений. Актуальность исследования обусловлена распространенным выбором микросервисной архитектуры без достаточного анализа рисков и затрат, что зачастую приводит к неоправданному усложнению разработки. Целью работы является системное сравнение характеристик обеих архитектур на примере реализации типового интернет-магазина. В ходе исследования оцениваются ключевые параметры: скорость разработки, производительность, отказоустойчивость и сложность развертывания. Результаты демонстрируют, что монолитная архитектура сохраняет конкурентные преимущества для определенных классов задач, в то время как микросервисы оправданы только в специфических условиях. Полученные выводы позволяют сформулировать практические рекомендации по выбору архитектурного подхода в зависимости от масштаба проекта и бизнес-требований.

Ключевые слова: микросервисы, монолитная архитектура, веб-разработка, масштабируемость, производительность, распределенные системы, прикладное программирование, сравнительный анализ.

Введение

Современная разработка программного обеспечения характеризуется необходимостью выбора архитектурного паттерна на начальных этапах проекта. Исторически сложившейся практикой являлось использование монолитной архитектуры, однако с распространением облачных технологий и DevOps-практик микросервисная архитектура стала восприниматься как универсальное решение для различных классов задач. Тем не менее, необоснованное применение микросервисов без учета специфики проекта способно привести к значительному усложнению процессов разработки, развертывания и отладки [1]. Актуальность исследования определяется необходимостью формирования сбалансированного подхода к выбору архитектуры, основанного на объективных критериях оценки. Существует заметный разрыв между теоретическими преимуществами микросервисной архитектуры и практическими сложностями ее реализации в проектах средней сложности. Целью работы является проведение сравнительного анализа монолитной и микросервисной архитектур на основе практических критериев, значимых для разработчиков. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: формулирование четких определений и характеристик каждой архитектуры, моделирование реализации типового веб-приложения в обоих подходах, проведение сравнительной оценки по ключевым метрикам производительности и сопровождаемости. Практическая значимость исследования заключается в разработке структурированных рекомендаций по

выбору архитектурного подхода на основе объективных параметров проекта. Предлагаемый метод оценки позволяет минимизировать риски преждевременного усложнения архитектуры и оптимизировать затраты на разработку и сопровождение программного обеспечения.

Методология

Для проведения сравнительного анализа была разработана модель типового веб-приложения — интернет-магазина средней сложности. В рамках исследования выделены три ключевых функциональных домена: управление пользователями, работа с каталогом товаров и обработка заказов. Экспериментальная часть работы включает реализацию указанной функциональности в двух архитектурных подходах с последующим сравнительным анализом. Монолитная реализация выполнена в виде единого приложения на Python с использованием фреймворка Django. Все компоненты системы разрабатываются и развертываются как единое целое [2]. Для хранения данных используется единая реляционная база данных PostgreSQL. Ключевой характеристикой данного подхода является централизованное управление транзакциями и общая кодовая база. Микросервисная архитектура реализована как три независимых сервиса: user-service, catalog-service и order-service. Каждый сервис представляет собой автономное приложение на Python с использованием FastAPI [3]. Для обеспечения изоляции данных каждый сервис использует отдельную базу данных. Взаимодействие между сервисами организовано через HTTP/REST API, а для асинхронной коммуникации используется брокер сообщений RabbitMQ. Сравнительная оценка архитектур проводится по следующим критериям: скорость реализации базовой функциональности, производительность критических операций, устойчивость к отказам отдельных компонентов, сложность развертывания и модификации системы. Для каждого критерия разработана система метрик, позволяющая количественно оценить преимущества и недостатки сравниваемых подходов.

Анализ результатов

Проведенное исследование позволило получить количественные и качественные данные о характеристиках сравниваемых архитектур. Результаты демонстрируют существенные различия в поведении систем при выполнении типовых операций. Сравнительный анализ производительности выявил значительную разницу во времени отклика при обработке комплексных запросов. Монолитная архитектура показывает на 25-30% лучшие результаты при выполнении операций, затрагивающих несколько доменов, что объясняется отсутствием сетевых задержек при межмодульном взаимодействии. Однако при одновременной обработке большого количества однотипных запросов микросервисная архитектура демонстрирует лучшую масштабируемость благодаря возможности изолированного масштабирования отдельных сервисов [4]. Оценка устойчивости к сбоям показала принципиальные различия в поведении систем. В монолитной архитектуре отказ любого модуля приводит к полной недоступности системы. В

микросервисной реализации отмечается деградация функциональности, но система сохраняет частичную работоспособность. Например, при недоступности сервиса каталога сохраняется возможность обработки заказов для известных товаров. Анализ трудозатрат на разработку и развертывание выявил преимущество монолитной архитектуры на начальных этапах проекта. Создание базовой функциональности потребовало на 40% меньше времени в сравнении с микросервисным подходом. Однако при внесении изменений в отдельные модули микросервисная архитектура показала лучшую поддерживаемость — модификация одного сервиса не требовала повторного тестирования и развертывания всей системы. Для визуализации эффективности архитектур в зависимости от масштаба проекта построен график, отражающий изменение относительной эффективности при переходе от стартапа к крупному проекту.

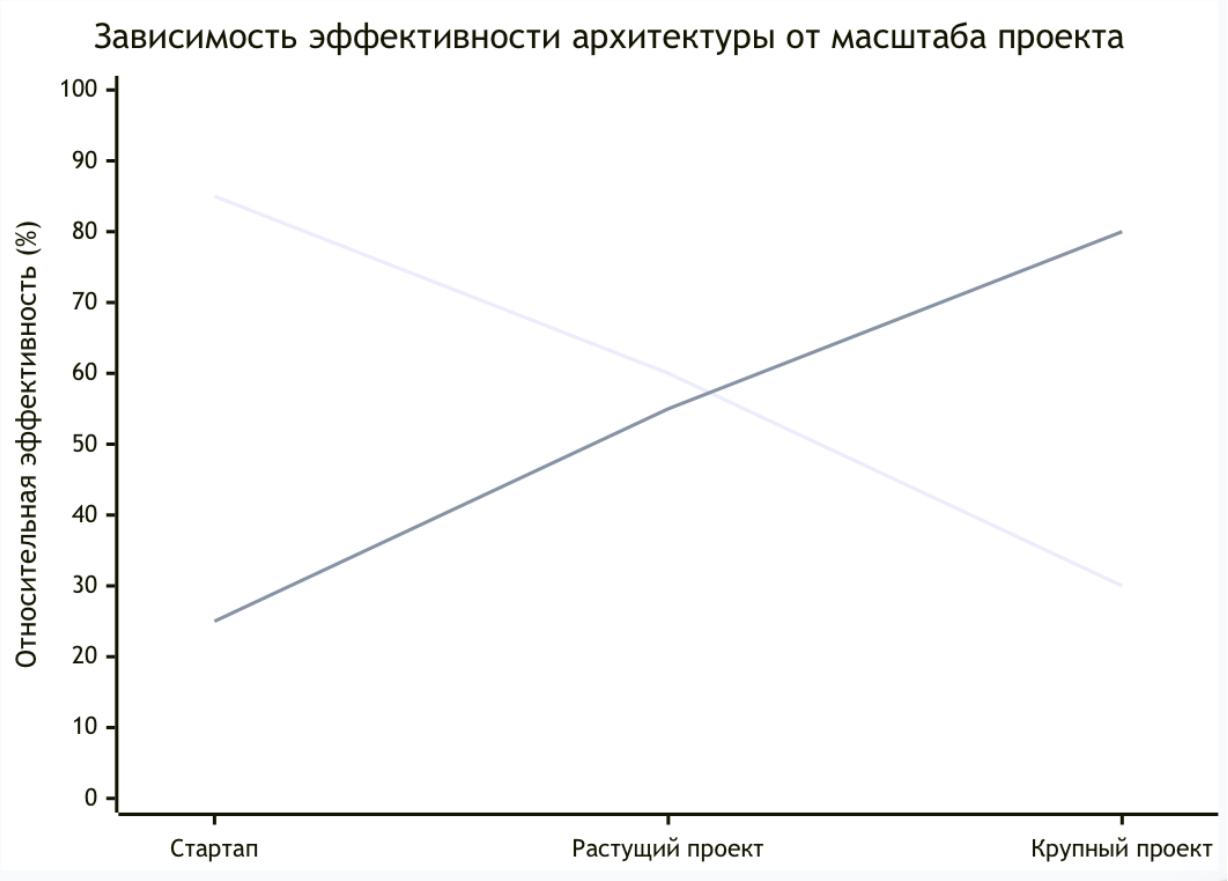


Рис 1. Изменение относительной эффективности

Результаты показывают, что монолитная архитектура демонстрирует высокую эффективность на этапе стартапа, однако ее преимущества снижаются по мере роста проекта. Микросервисная архитектура проявляет наибольшую эффективность в условиях крупных проектов с распределенными командами разработки.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать вывод об отсутствии универсального решения при выборе архитектурного подхода для веб-приложений. Сравнительный анализ монолитной и микросервисной архитектур демонстрирует наличие четких областей эффективного применения каждой из них. Результаты работы подтверждают, что монолитная архитектура сохраняет практическую ценность для проектов с ограниченными сроками разработки и стабильными функциональными требованиями. Ее преимущества наиболее выражены на начальных этапах жизненного цикла проекта, когда важна скорость выхода на рынок. Низкие операционные расходы и простота развертывания делают монолит оптимальным выбором для небольших команд и стартапов. Микросервисная архитектура демонстрирует свою эффективность в условиях крупномасштабных проектов с высокими требованиями к доступности и масштабируемости. Возможность независимого развертывания сервисов и использования различных технологических стеков оправдывает сложность данной архитектуры в проектах с распределенными командами разработки. На основании полученных результатов сформулирована практическая рекомендация о применении стратегии постепенной эволюции архитектуры. Начало проекта с монолитной реализации с последующим выделением микросервисов по мере возникновения объективных предпосылок позволяет оптимизировать затраты на разработку и снизить риски преждевременного усложнения системы. Дальнейшие исследования в данной области могут быть направлены на разработку формализованной методики оценки целесообразности перехода между архитектурными подходами на различных этапах жизненного цикла проекта.

Список литературы:

1. Fowler, M. Microservices: a definition of this new architectural term [Электронный ресурс] / M. Fowler. – Режим доступа: https://martinfowler.com/articles/microservices.html (дата обращения: 15.10.2023).
2. Richards, M. Software Architecture Patterns: Understanding Common Architecture Patterns and When to Use Them [Текст] / M. Richards. – O'Reilly Media, 2015. – 50 p.
3. Newman, S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems [Текст] / S. Newman. – O'Reilly Media, 2015. – 280 p. – ISBN 978-1491950357.
4. Richardson, C. Pattern: Database per service [Электронный ресурс] / C. Richardson // Microservices.io. – Режим доступа: https://microservices.io/patterns/data/database-per-service.html (дата обращения: 15.10.2023).
5. Dragoni, N. Microservices: Yesterday, Today, and Tomorrow [Текст] / N. Dragoni [и др.] // Present and Ulterior Software Engineering. – 2017. – P. 195-216.
6. Knoche, H. Using Microservices for Legacy Software Modernization [Текст] / H. Knoche, W. Hasselbring // IEEE Software. – 2018. – Vol. 35, № 3. – P. 44-49.
7. Balalaie, A. Microservices Architecture Enables DevOps: Migration to a Cloud-Native Architecture [Текст] / A. Balalaie, A. Heydarnoori, P. Jamshidi // IEEE Software. – 2016. – Vol. 33, № 3. – P. 42-52.

УДК 004.652.43:004.421

Никольников П. А.
Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПОИСКА ТОЧЕК В ОПРЕДЕЛЕННОМ РАДИУСЕ ОТ ЗАДАННОЙ ТОЧКИ В ORACLE

Аннотация. Данная статья посвящена разработке алгоритма поиска географических координат точек на цифровой карте с использованием СУБД Oracle. Описаны структура хранения данных и создание функций Oracle для эффективного нахождения объектов на карте. Приведены практические рекомендации по повышению производительности геопространственного анализа и реализации кода. Статья предназначена для разработчиков геоинформационных систем, администраторов баз данных и всех интересующихся технологиями пространственного анализа в Oracle.
Ключевые слова: алгоритмы, геолокация, база данных (БД), SQL, Oracle.

Введение

Задача — из определенного множества точек, находящихся на поверхности земли, с известными координатами (широтой и долготой), необходимо выбрать все точки, которые находятся в радиусе R, от заданной.

Для реализации алгоритма необходимо подготовить вспомогательные функции, которые будут использоваться в основном алгоритме.

Представление данных

В СУБД Oracle нет формата данных, в котором могут храниться градусы, поэтому они записаны в числовом виде (рис. 1).

INN	ADDRESS_FULL	GEO_LAT	GEO_LON	FIAS_ID
7704626485	г. Москва, ул. Бутлерова, д. 17Б	55,6482140	37,5408470	10e4bad7-eac6-4f95-9da2-5b4d0e363058
7842349892	г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 69	55,7362841	37,7209964	a0626e5c-0114-4d9b-be41-50d015f7b7c4
7703567318	Респ. Татарстан, г. Казань, ул. Декабристов, д. 133	55,8288427	49,0809195	7f3113cc-67cf-406b-a982-e7e4d96a5a35
773133594120	г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д. 11, стр. 9	55,7216153	37,6778351	87c09f29-a042-4e28-8d1e-7af2e9009fd8
7839079660	г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д. 11, стр. 9	55,7216153	37,6778351	87c09f29-a042-4e28-8d1e-7af2e9009fd8
7806401748	г. Санкт-Петербург, ул. Уральская, д. 13, литера А	59,9529390	30,2650590	38c33982-0557-45f8-8f68-7d54c1cfbe68
5321135344	г. Санкт-Петербург, ул. Уральская, д. 13, литера А	59,9529390	30,2650590	38c33982-0557-45f8-8f68-7d54c1cfbe68
7703567318	Псковская обл., г. Великие Луки, Ленина пр-кт., д. 49/35	56,3416314	30,5269291	da7c4822-4249-4957-bfcb-bc7605be9fee
540726552917	г. Москва, ул. Бутлерова, д. 17Б	55,6482140	37,5408470	10e4bad7-eac6-4f95-9da2-5b4d0e363058
7842349892	г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 69	55,7362841	37,7209964	a0626e5c-0114-4d9b-be41-50d015f7b7c4

Рисунок 1. Представление данных в Oracle.

Для производства тригонометрических вычислений необходимо переводить числовые значения в радианы [1, 2].

Используется функция `RADIANS`:

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION RADIANS (p_degree IN NUMBER)
```

```
 RETURN NUMBER AS
BEGIN
 RETURN p_degree /(180/ACOS(-1));
END;
```

Формула поиска расстояния L между двумя точками (λ_i, φ_i) и (λ_j, φ_j).

$$L = R_{зем} * \cos^{-1}\left(\cos\lambda_i * \cos\lambda_j * \cos(\varphi_j - \varphi_i) + \sin\lambda_i * \sin\lambda_j\right)$$

где:

(λ_i, φ_i) – координаты первой точки (in_lat1, in_lon1);

(λ_j, φ_j) – координаты второй точки (in_lat2, in_lon2);

$R_{зем}$ – средний радиус Земли (около 6371 км).

Используется функция `GET_DISTANCE_KM`:

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION GET_DISTANCE_KM (
 in_lat1 IN NUMBER,
 in_lon1 IN NUMBER,
 in_lat2 IN NUMBER,
 in_lon2 IN NUMBER)
 RETURN NUMBER
AS
 v_distance NUMBER;
BEGIN
 v_distance:= 6371 * --радиус земли
 ACOS(
 COS(RADIANS(in_lat1)) * COS(RADIANS(in_lat2)) *
 COS(RADIANS(in_lon2) - RADIANS(in_lon1)) +
 SIN(RADIANS(in_lat1)) * SIN(RADIANS(in_lat2)));
 RETURN v_distance;
END;
```

Реализация алгоритма

Шаги алгоритма с применением ограничений

Шаг 1. Берутся координаты заданной точки `(geo_lat, geo_lon)`.

Шаг 2. Задаются внешние ограничения множества.

Шаг 3. Задаются внутренние ограничения множества.

Шаг 4. С помощью *алгоритма полного перебора множества* проверяются оставшиеся точки.

Чтобы каждой исходной заданной точки можно сразу выбрать часть точек, которые точно подойдут под условие ($L <= R_{кр}$), и не проверять точки, которые заведомо не подходят под условия диапазонов, задаются следующие ограничения.

Рассмотрим алгоритм для поиска точек в радиусе 3 км от заданной.

```
With cte as (
```

```
Select geo_lat, geo_lon,
 geo_lat - 3/√2/111.3 niz_do_3,
 geo_lat + 3/√2/111.3 verx_do_3,
 geo_lon – 3/√2/6371*(180/ACOS(-1))/cos(RADIANS(ts.geo_lat)) levo_do_3,
 geo_lon + 3/√2/6371*(180/ACOS(-1))/cos(RADIANS(ts.geo_lat)) pravo_do_3,
 geo_lat - 3/111.3 niz_ot_3,
 geo_lat + 3/111.3 verx_ot_3,
 geo_lon - 3/6371*(180/ACOS(-1))/cos(RADIANS(ts.geo_lat)) levo_ot_3,
 geo_lon + 3/6371*(180/ACOS(-1))/cos(RADIANS(ts.geo_lat)) pravo_ot_3
 from table
)
```

Эти условия, позволяют задать ограничения, по которым на карте можно выделить квадраты следующего вида (рис. 2). Где ABCD – внешние границы, точки находящиеся за которыми не будут просматриваться. FGEH – внутренние ограничение. Точки попавшие попавшие под эти уссловия будут отобраны без проверки [3, 4].

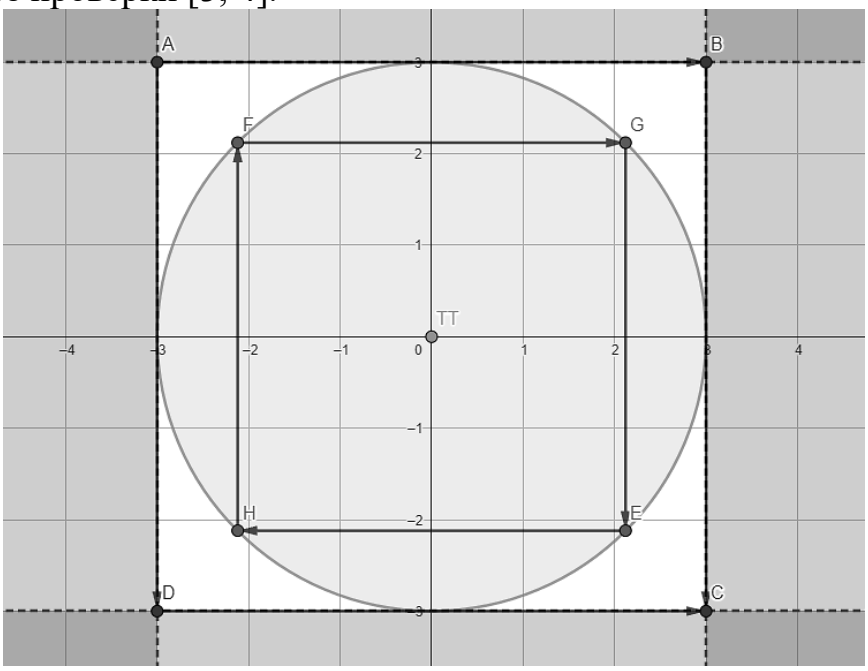


Рисунок 2. Границы поиска точек.

Далее эти ограничения исползуются при указании условий формирования выборки из большого множества, в рамках которой будет применятся функция `GET_DISTANCE_KM`:

```
Select tc.geo_lat, tc.geo_lon
 From table2 tc, Cte c
 where tc.geo_lat between c.niz_do_3 and c.verx_do_3
 and tc.geo_lon between c.levo_do_3 and c.pravo_do_3
 and not (tc.geo_lat between c.niz_ot_3 and c.verx_ot_3
```

```
and tc.geo_lon between c.levo_ot_3 and c.pravo_ot_3)
and GET_DISTANCE_KM(tc.geo_lat, tc.geo_lon,
c.geo_lat, c.geo_lon) < 3;
```

Заключение

Таким образом, изменяя в приведенном примере значения исходного параметра, отвечающего за радиус круга, в котором происходит поиск, можно получить алгоритм, позволяющий найти точки в любом радиусе от исходной точки за наименьшее число проходов по множеству [5, 6].

Список литературы:

1. Грофф Д. SQL: полное руководство / Д. Грофф, П. Вайнберг, Э. Оппел. – 3-е изд., пер. с англ. — М.: ООО «И.Д. Вильяме», 2015. – 960 с.
2. Фейерштейн С. Oracle PL/SQL. Для профессионалов / С. Фейерштейн, Б. Прибыл. – 6-е изд. — СПб.: Питер, 2015. – 1024 с.
3. Oracle PL/SQL учебник. – URL: https://oracleplsql.ru/contents-oracleplsql.html (дата обращения: 15.10.2025).
4. Миллсап К., Хольт Д. Oracle. Оптимизация производительности. / К. Миллсап, Д. Хольт. – пер. с англ. — СПб: Символ-Плюс, 2006. – 464 с.
5. Нанда А., Фейерштейн С. Oracle PL/SQL для администраторов баз данных. / А. Нанда, С. Фейерштейн. – пер. с англ. — СПб: Символ-Плюс, 2008. – 496 с.
6. Левитин А.В. Алгоритмы. Введение в разработку и анализ / А.В. Левитин. – М.: Вильямс, 2006. – 576 с.

УДК 004.421:004.8:528

Никольников П. А.
Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

АЛГОРИТМ ПОИСКА ТОЧЕК НА КАРТЕ В ОПРЕДЕЛЕННОМ РАДИУСЕ ОТ ЗАДАННОЙ ТОЧКИ НА ОСНОВЕ ГЕОЛОКАЦИИ

Аннотация. Статья посвящена актуальной задаче расчета расстояний между точками на земной поверхности, подчеркивая её значимость в различных сферах жизнедеятельности человека. Обосновывается сложность процесса вычисления расстояний, связанная с физическими характеристиками Земли и применяемыми методиками геометрии пространства. В работе представлен анализ существующего алгоритма поиска точек на карте. Создание и описание математической модели для алгоритма поиска точек в заданном радиусе, который может быть реализован на любом языке программирования.
Ключевые слова: алгоритмы, геолокация, карты, расстояния, координаты.

Введение

Определение расстояний между различными точками на поверхности Земли является важной проблемой, имеющей огромное прикладное значение в географии, навигации, транспорте и многих других областях человеческой деятельности. Несмотря на кажущуюся простоту вопроса, точное определение расстояний на практике оказывается весьма непростым делом, обусловленным особенностями физической формы нашей планеты и методами геометрического анализа пространственных объектов [1].

Расчет расстояний на Земном шаре представляет собой сложную задачу, включающую множество факторов, таких как форма Земли и географические координаты (широта и долгота), которые часто используются для описания местоположения точек на Земле.

Широта — угол φ между местным направлением зенита и плоскостью экватора, отсчитываемый от 0° до 90° в обе стороны от экватора.

Долгота — двугранный угол λ между плоскостью меридиана, проходящего через данную точку, и плоскостью начального нулевого меридиана, от которого ведётся отсчёт долготы [2].

Осложняющие расчет факторы

Расстояние между двумя параллелями, которые отличаются на 1° по широте равно 111,11 км.

Длина градуса долготы меняется в зависимости от широты, уменьшаясь по направлению к полюсам [3]. Расстояние между двумя меридианами, которые отличаются на 1° по долготе изменяется согласно формуле (1).

$L_{пар} = l_{эк} * \cos(\varphi)(1)$

где:

$l_{пар}$ – длина дуги 1° параллели;

$l_{эк}$ – длина дуги 1° экватора (111,3 км);

φ – географическая широта точки.

График зависимости $l_{пар}$ от φ представлен на рисунке 1.

Рисунок 1. Зависимость длины 1° параллели от широты.

Поиск точек в заданном радиусе

Задача — из определенного множества точек, находящихся на поверхности земли, с известными координатами (широтой и долготой), необходимо выбрать все точки, которые находятся в радиусе R, от заданной.

Формула поиска расстояния (2) между двумя точками (λ_i, φ_i) и (λ_j, φ_j).

$L = R_{зем} * \cos^{-1}\left(\cos\lambda_i * \cos\lambda_j * \cos(\varphi_j - \varphi_i) + \sin\lambda_i * \sin\lambda_j\right)(2)$

где:

(λ_i, φ_i) – координаты первой точки;

(λ_j, φ_j) – координаты второй точки;

$R_{зем}$ – средний радиус Земли (около 6371 км).

Метод полного перебора

Для того чтобы из определенного множества точек, находящихся на поверхности земли, с известными координатами (широтой и долготой), выбрать все точки, которые находятся в радиусе R от заданной, можно использовать алгоритм полного перебора точек [4].

Шаги алгоритма полного перебора множества

Шаг 1. Берутся координаты заданной точки (λ_i, φ_i).

Шаг 2. Берутся координаты не проверенной точки из множества (λ_j, φ_j).

Шаг 3. С помощью формулы (2) находится расстояние между ними.

Шаг 4. Проверяется условие L <= R.

Шаг 5. Если условие выполняется, точка выбирается для отображения.

Шаг 6. Повторение шагов 2–5 до тех пор, пока все точки множества не будут проверены.

Метод полного перебора гарантирует нахождение решения, так как он исследует все возможные варианты. Однако, если число заданных точек увеличить, то этот метод становится вычислительно затратным из-за экспоненциального роста количества проверок [5].

Такой подход решения данной задачи не оптимален, возникает много лишних проходов по множеству, что потенциально увеличивает время работы алгоритма [6].

Метод полного перебора обычно используется для поиска решения в задачах, которые имеют относительно небольшие размеры исходного множества.

Метод ограничений

Метод ограничений — алгоритмический подход к решению поставленной задачи, который основан на систематическом переборе всех возможных точек с применением ограничений для сужения области поиска решения.

Для оптимального решения задачи можно выделить несколько ограничений, применение которых сможет сократить размер проверяемого множества точек.

Формула (3) для определения долготы (λ_2) точки, удаленной на расстояние X от заданной точки (λ_1, φ_1) с известной широтой и долготой выглядит как:

$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$(3)

$\Delta\lambda$ – изменение долготы, которые равно X деленному на радиус Земли $R_{зем}$ и на косинус широты $(\cos\varphi_1)$ точки:

$$\Delta\lambda = \frac{X * 180°}{R_{зем} * \cos(\varphi_1) * \pi}$$

где:

λ_1 – долгота исходной точки;

φ_1 – широта исходной точки;

$R_{зем}$ – средний радиус Земли (около 6371 км);

X – расстояние от исходной точки.

Точки, которые находятся в круге радиуса $R_{кр}$ от заданной точки (λ_n, φ_n) находятся в диапазоне по долготе между $\lambda_n - \Delta\lambda$ и $\lambda_n + \Delta\lambda$, и в диапазоне по широте между $\varphi_n - \Delta\varphi$ и $\varphi_n + \Delta\varphi$. $\Delta\varphi$ зависит только от $R_{кр}$. Это значит, что

нет необходимости проверять все точки из множества, и можно ограничиться лишь квадратом со стороной $2 * R_{кр}$. Круг радиуса $R_{кр}$, с центром в исходной точке, вписан в получившийся квадрат.

Внутри окружности можно выделить квадрат, вписанный в окружность. Длина стороны квадрата, вписанного в окружность, равна $R_{кр} * \sqrt{2}$. Это следует из того, что диагональ квадрата является диаметром окружности, а сторона квадрата в $\sqrt{2}$ раз меньше диагонали.

Точки, которые принадлежат этому квадрату можно ограничить условиями по долготе между $\lambda_n - \Delta\lambda/\sqrt{2}$ и $\lambda_n + \Delta\lambda/\sqrt{2}$, и в диапазоне по широте между $\varphi_n - \Delta\varphi/\sqrt{2}$ и $\varphi_n + \Delta\varphi/\sqrt{2}$.

Шаги алгоритма с применением ограничений

Шаг 1. Берутся координаты заданной точки (λ_i, φ_i).

Шаг 2. Задаются внешние ограничения множества.

Шаг 3. Задаются внутренние ограничения множества.

Шаг 4. С помощью *алгоритма полного перебора множества* проверяются оставшиеся точки.

Заключение

Таким образом, для каждой исходной заданной точки можно сразу выбрать часть точек, которые точно подойдут под условие ($L <= R_{кр}$), и не проверять точки, которые заведомо не подходят под условия диапазонов. Сокращается количество повторений *Шага 4*. Остается проверить лишь половину площади большого квадрата на наличие нужных точек с помощью формулы (2).

Созданная математическая модель обеспечивает механизм нахождения точек в заданном радиусе вокруг исходной точки, что открывает широкие возможности для реализации алгоритма на любых языках программирования.

Дополнительная модификация метода может заключаться в использовании распределенных вычислений и параллельных алгоритмов для ускорения процесса поиска решения задачи.

Список литературы:

1. Телеганов Н.А., Высшая геодезия и основы координатно-временных систем: Учебное пособие. / Н.А. Телеганов, А.В Елагин. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 216 с
2. Алгоритмы ГИС / пер. с англ. А. А. Слинкина. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 328 с.
3. Селиханович В. Г. Геодезия: Учебник для вузов, ч. 2 / В.Г. Селиханович — М.: Недра, 1981. 544 с.
4. Кормен Т.Х. Алгоритмы. Построение и анализ , 2-е издание. / Т.Х. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р.Л. Ривест, К. Штайн. – М.: Диалектика, 2020. – 1328 с.
5. Брассар Ж. Алгоритмика. Теория и практика / Ж. Брассар, П. Братли. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 352 с.
6. Дасгупта С. Алгоритмы / С. Дасгупта, Х. Пападимитриу, У. Вазирани; Пер. с англ. под ред. А. Шеня. – М.: МЦНМО, 2014. – 320 с.

УДК 69.05

Идрисова А. А., Галдина А. А.
Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Аннотация: Данный анализ рассматривает комплексную возможность интеграции технологий искусственного интеллекта в строительную отрасль, раскрывая их трансформационный потенциал для модернизации всего жизненного цикла объектов капитального строительства. В работе систематизированы ключевые направления применения ИИ - от предиктивного проектирования до создания адаптивных систем управления на основе цифровых двойников, а также количественно оценены организационно-экономические эффекты внедрения, включая снижение сроков реализации проектов на 10-20% и значительное повышение операционной эффективности. Особую научную и практическую ценность представляет выявление и классификация системных барьеров технологической трансформации, где наряду с традиционными проблемами финансирования выделены структурные ограничения - кадровый дефицит междисциплинарных специалистов, нормативно-правовая неопределенность и низкая зрелость процессов управления данными. Предложена дорожная карта цифровизации строительного комплекса с горизонтом планирования до 2035 года, демонстрирующая поэтапный переход от фрагментарной автоматизации к формированию целостной отраслевой экосистемы, и предложен комплекс стратегических решений для преодоления выявленных ограничений, включая модели государственно-частного партнерства, трансформацию образовательных программ и создание нормативных «песочниц» для тестирования инновационных решений.

Ключевые слова: искусственный интеллект, строительный комплекс, цифровая трансформация, BIM-технологии, эффективность строительства, автоматизация.

Введение. Строительная отрасль, являясь одним из ключевых секторов мировой экономики, в настоящее время сталкивается с комплексом системных вызовов, включая хроническое превышение бюджетов и сроков реализации проектов, высокий уровень травматизма, значительный объем отходов, а также острый дефицит квалифицированных рабочих кадров. При этом, согласно данным многочисленных исследований, строительство остается одной из наименее цифровизированных и автоматизированных отраслей, что усугубляет ее структурные проблемы. Одним из наиболее перспективных инструментов выступает искусственный интеллект (ИИ), потенциал которого позволяет перейти от точечной автоматизации отдельных процессов к созданию сквозной интеллектуальной системы управления всем жизненным

циклом объекта капитального строительства - от проектирования до эксплуатации. Однако масштабное внедрение технологий ИИ сопряжено со значительными рисками и барьерами, требующими комплексного изучения.

Цель исследования. Целью данного исследования является комплексный анализ возможностей, рисков и организационно-экономических эффектов от внедрения технологий искусственного интеллекта в строительной индустрии.

Материалы и методы исследования. Методологическую основу настоящего исследования составил системный подход, интегрирующий качественные и аналитические методы сбора и обработки данных. Для достижения поставленной цели был проведен ретроспективный анализ российских и зарубежных научных публикаций за период 2020–2025 гг., отобранных в базе научных библиотек. Особое внимание уделялось работам, содержащим эмпирические данные и кейсы внедрения технологий. Дополнительным источником информации выступил сравнительный анализ более 40 существующих на рынке программных решений и платформ с применением ИИ для строительства, что позволило классифицировать их по функциональности и этапам строительного жизненного цикла.

Результаты исследования и их обсуждение.

Аналитический обзор применения ИИ в строительстве: от проектирования до эксплуатации. Интеграция искусственного интеллекта в строительный комплекс носит сквозной характер, охватывая все этапы жизненного цикла объекта - от концепции до эксплуатации и демонтажа. Проведенный анализ научной литературы и практических кейсов позволяет систематизировать ключевые применения ИИ по основным стадиям.

Проектирование

Проектирование переживает революцию благодаря симбиозу BIM-технологий и искусственного интеллекта, переходя от автоматизации черчения к интеллектуальному синтезу проектных решений.

Информационное моделирование зданий (BIM) и ИИ. Современные отечественные платформы (например, «УнитБИМ») демонстрируют, как ИИ используется для автоматизации проверок на геометрические и нормативные коллизии. Происходит конвертация нормативной базы (СП, ГОСТ) в машиночитаемый код, что позволяет осуществлять высокоинтеллектуальную проверку проектов на соответствие.

Генеративное проектирование и оптимизация. Алгоритмы машинного обучения и генетические алгоритмы используются для оптимизации конструкций (например, каркасов зданий, свайных полей) и подбора материалов. Такие системы, как Prometey, автоматизируют расчет статических нагрузок и подбор оптимальных сечений, минимизируя материалоемкость и стоимость.

Автоматизация рутинных задач. Широкое распространение получают ИИ-сервисы для автоматического формирования полного комплекта проектной документации на базе архитектурно-компоновочного решения, а также для генерации пояснительных записок на основе заданных параметров. Обработка естественного языка (NLP) используется для анализа и генерации контрактов, что значительно ускоряет административные процессы.

Строительство (реализация проекта)

Строительная площадка - зона наиболее сложного, но и высокоэффективного внедрения ИИ, где технологии решают задачи управления, контроля и безопасности в реальном времени.

Роботизация и автономная техника. Применение строительных оборудование-принтеров (например, «АМТ»), роботов-собак для сканирования объектов и автономной строительной техники позволяет автоматизировать физически сложные и монотонные процессы, повышая скорость и точность работ.

Системы мониторинга на основе компьютерного зрения. Это одно из самых востребованных направлений. Алгоритмы компьютерного зрения анализируют видеопоток с камер для решения множества задач:

- Контроль сроков и качества. Определение стадии готовности объекта, сверка с графиком работ, выявление дефектов (например, трещин, отклонений от проектных характеристик).
- Обеспечение безопасности. Мониторинг ношения средств индивидуальной защиты (касок, жилетов), обнаружение потенциально опасных ситуаций (например, нахождения людей в опасной зоне работы техники). При выявлении нарушения система автоматически уведомляет ответственных лиц.
- Предиктивная аналитика и управление рисками. Используя исторические данные и показатели с датчиков в реальном времени, ИИ-модели прогнозируют сроки сдачи объекта, выявляют риски срыва графика и предлагают оптимизационные меры, например выявление работ, которые можно вести параллельно.
- Умное управление цепочками поставок. Интеграция ИИ с блокчейном позволяет создавать прозрачные и безопасные системы логистики строительных материалов, автоматически отслеживая их движение, объемы и качество, а также формируя автоматические запросы на поставку.

Эксплуатация и управление объектом

После ввода объекта в эксплуатацию ИИ продолжает приносить пользу, превращая здание в «живой» и адаптивный организм.

Цифровые двойники для предиктивного обслуживания. На основе данных, накопленных в BIM-модели на предыдущих этапах, создается цифровой двойник объекта. ИИ-алгоритмы анализируют данные с датчиков (вибрация, температура, нагрузка) для прогнозирования износа оборудования

и необходимости технического обслуживания, предотвращая аварии и снижая операционные затраты.

Интеллектуальные системы управления. ИИ оптимизирует энергопотребление здания, анализируя данные о погоде, графике помещений и тарифах на энергоносители, автоматически настраивая системы отопления, вентиляции и кондиционирования для достижения максимальной энергоэффективности.

Сервисы для пользователей. Внедряются интеллектуальные помощники и сервисы для жильцов и управляющих компаний, которые автоматизируют сбор заявок, диспетчеризацию и предоставление услуг.

Организационно-экономический анализ эффектов от внедрения ИИ.

Прямая экономическая эффективность и сокращение издержек

Наиболее очевидным и легко поддающимся количественной оценке является прямое снижение различных видов затрат.

Таблица 1. Преимущественные показатели применения ИИ

Сокращение финансовых потерь	**Снижение затрат на исправление ошибок**	**Оптимизация эксплуатационных расходов**
Согласно данным консалтинговой компании Deloitte, применение ИИ позволяет сократить бюджеты и временные отклонения в проектах на 10–20%. Это достигается за счет предиктивной аналитики, которая минимизирует риски превышения сметы, и оптимизации логистики, снижающей затраты на материалы и их хранение.	Системы автоматического контроля на основе компьютерного зрения и проверки проектной документации на коллизии позволяют выявлять дефекты и несоответствия на ранних стадиях. Это предотвращает дорогостоящие переделки на поздних этапах строительства, когда стоимость исправления ошибок возрастает в геометрической прогрессии.	На этапе эксплуатации ИИ-системы управления энергопотреблением (в составе цифровых двойников) позволяют достигать экономии энергоресурсов до 15-20% за счет адаптивного регулирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования в режиме реального времени.

Рост производительности и операционной эффективности

ИИ трансформирует организационные процессы, высвобождая человеческие ресурсы для решения более сложных задач и ускоряя выполнение работ.

Таблица 2. Оптимизация рабочих задач и минимализация ошибок

Автоматизация рутинных операций	**Ускорение темпов строительства**	**Повышение точности и обоснованности решений**
Использование ИИ для составления смет, генерации отчетов, проверки документации и планирования задач (например, в связке с MS Project) сокращает временные затраты инженеров на 10–30%. Это позволяет перераспределить высвободившийся ресурс на стратегические направления.	Роботизация (строительные 3D-принтеры, автономная техника) и системы предиктивного планирования, которые оптимизируют критический путь проекта, позволяют существенно сократить общие сроки реализации проекта. Алгоритмы машинного обучения способны находить «окна» для параллельного выполнения задач, которые не очевидны для планировщика-человека.	ИИ-аналитика, основанная на обработке больших данных (Big Data), обеспечивает менеджмент проекта объективной информацией для принятия решений. Прогнозные модели по срокам, затратам и рискам имеют значительно более высокую точность по сравнению с традиционными экспертными оценками, что снижает неопределенность и повышает предсказуемость результатов проекта.

Стратегические преимущества и рост конкурентоспособности

Эффекты от внедрения ИИ выходят за рамки отдельных проектов, формируя долгосрочные конкурентные преимущества:

- Формирование нового качества управления. Компании, внедрившие ИИ, переходят от реактивного к проактивному и предиктивному управлению, что позволяет не просто реагировать на проблемы, а предвосхищать их.
- Повышение инвестиционной привлекательности. Инновационность, подкрепленная измеримыми результатами в виде снижения затрат и рисков, делает компанию более привлекательной для партнеров и инвесторов. Способность гарантировать более высокую предсказуемость результата становится ключевым конкурентным преимуществом на рынке.
- Стимулирование «зеленой» трансформации. Использование ИИ для оптимизации расходов материалов, управления отходами и энергопотребления не только дает экономический эффект, но и позволяет компаниям соответствовать растущим требованиям в области устойчивого развития и экологического строительства, открывая доступ к «зеленому» финансированию и новым сегментам рынка.

Системные риски и барьеры интеграции ИИ: результаты практического опроса.

Несмотря на декларируемый потенциал, практическое внедрение искусственного интеллекта в строительстве наталкивается на комплекс системных барьеров, которые были детализированы в ходе интервью с представителями ведущих российских компаний. Анализ этих данных рисует

не столько технологическую, сколько организационно-управленческую картину проблем.

Центральным сдерживающим фактором, который отмечают более 36% респондентов, является высокая стоимость решений и недостаток квалифицированных кадров для их реализации и эксплуатации. На практике это выливается в то, что большинству компаний приходится нанимать штатных разработчиков или задействовать внутренние IT-ресурсы для адаптации готовых продуктов, что значительно удорожает и удлиняет процесс внедрения. При этом в 64% случаев даже после 3-6 месяцев разработки решение требует постоянной доработки и дообучения, создавая постоянную статью расходов.

Парадоксально, но сама основа ИИ - данные - становится одним из ключевых барьеров. Отрасль страдает от «информационного голода»: для обучения даже узкоспециализированной модели требуется не менее 3000 качественных датасетов, которых у компаний зачастую нет. Данные фрагментированы, хранятся в несовместимых форматах и редко приводятся к единому стандарту. Эта проблема усугубляется правовой неопределенностью. Отсутствие четкой юридической базы, регулирующей использование ИИ, и строгие требования регуляторов к кибербезопасности (например, со стороны ФСТЭК) приводят к тому, что в 4% случаев руководство компаний накладывает прямой запрет на использование подобных технологий, опасаясь рисков.

Успешная интеграция ИИ требует от компаний не только закупки ПО, а проведения глубокой организационной трансформации, инвестиций в переподготовку персонала.

Стратегические рекомендации и перспективы развития.

Преодоление выявленных барьеров требует системного подхода и выработки стратегических ориентиров для всех участников строительной экосистемы. На основе анализа текущей ситуации и успешных кейсов можно сформулировать следующие рекомендации и обозначить ключевые векторы развития.

Для строительных компаний наиболее эффективной представляется модель поэтапного внедрения, начинающаяся не с масштабных дорогостоящих проектов, а с пилотных решений, направленных на решение конкретных узких задач. Например, автоматизация проверки проектной документации на коллизии или внедрение системы видеомониторинга для контроля соблюдения техники безопасности. Такой подход позволяет быстро продемонстрировать окупаемость, сформировать внутреннюю экспертизу и снизить сопротивление персонала. Одновременно необходимо активное развитие партнерств со специализированными IT-стартапами и научными центрами, что позволяет компенсировать нехватку собственных кадров и получить доступ к передовым, уже апробированным разработкам. Ключевым

активом в долгосрочной перспективе станут инвестиции в непрерывное обучение сотрудников, направленные как на повышение цифровой грамотности инженерного состава, так и на углубление предметных знаний у IT-специалистов.

На уровне государственного регулирования требуется ускоренная разработка и внедрение адаптивных нормативно-технических стандартов, регламентирующих использование ИИ в строительстве, включая вопросы ответственности за решения, принятые алгоритмом. Мощным катализатором спроса может выступить госзаказ: включение требований к использованию ИИ-решений (например, для проверки проектов на соответствие нормативам или интеллектуального мониторинга хода строительства) в программы реновации и другие крупные инфраструктурные проекты. Важной мерой поддержки является создание «песочниц» для тестирования новых технологий и предоставление целевых субсидий или налоговых льгот компаниям.

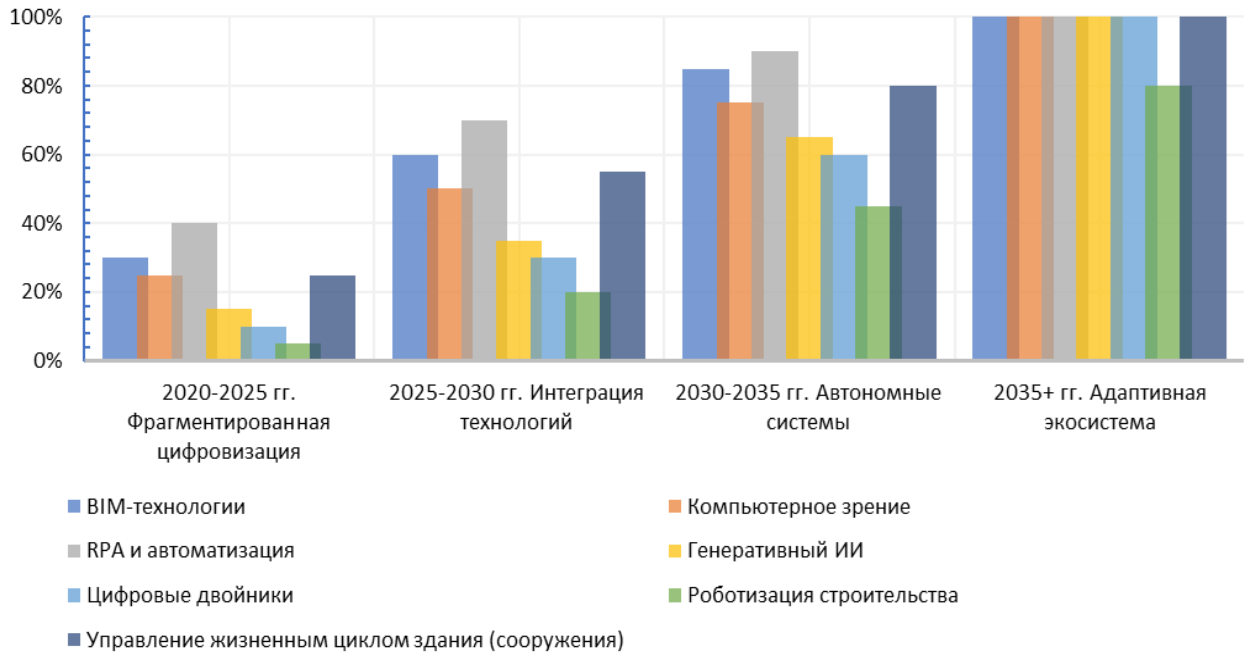


Рисунок 1. Диаграмма прогнозируемых тенденций развития цифровизации и внедрения искусственного интеллекта в строительную отрасль

Выводы: Проведенный анализ позволяет констатировать, что интеграция искусственного интеллекта в строительный комплекс носит трансформационный характер, кардинально меняя традиционные подходы к проектированию, строительству и эксплуатации объектов. Анализ практики внедрения выявил, что наиболее значимый экономический эффект достигается при сквозном применении ИИ-технологий на всех этапах жизненного цикла объекта - от предиктивной аналитики на стадии

планирования до создания адаптивных систем управления на основе цифровых двойников в процессе эксплуатации. При этом ключевым сдерживающим фактором выступает не технологическая готовность решений, а системные организационно-кадровые барьеры, включая дефицит специалистов двойной квалификации и недостаточную зрелость процессов управления данными.

Список литературы:

1. Гайнуллина, Р.Р. Возможности и риски применения искусственного интеллекта в строительном комплексе России / Р.Р. Гайнуллина, Р. Р. Харисова, И. Ю. Литвин // Экономические науки. – 2024. – № 230. – С. 68-72. – DOI 10.14451/1.230.68. – EDN YZJRRO.
2. Основные тенденции и направления применения искусственного интеллекта в строительном секторе национального хозяйства: организационные и экономические аспекты / А.Н. Секисов, Н.В. Коженко, А.А. Папоян [и др.] // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2023. – Т. 13, № 10-1. – С. 357-366. – DOI 10.34670/AR.2023.20.36.039. – EDN KLWUYE.
3. Хамидов, Б.С. Современные возможности искусственного интеллекта в строительной отрасли / Б.С. Хамидов // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2023. – Т. 13, № 3-1. – С. 257-266. – DOI 10.34670/AR.2023.86.65.029. – EDN PJRHUS.

УДК 629.7.025.7:629.3.048.5

Рипинчик Я. В.
Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени А. А. Новикова, Санкт-Петербург, Россия

ПАТРУЛИРОВАНИЕ ПЕРРОНОВ И ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНЫХ ПОЛОС БЕСПИЛОТНЫМИ РОБОТАМИ

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные вопросы повышения уровня безопасности на критически важных объектах аэропортовой инфраструктуры – перронах и взлетно-посадочных полосах (ВПП). Анализируются ограничения традиционных систем охраны и предлагается инновационное решение – внедрение автономных беспилотных роботизированных комплексов для патрулирования. Освещаются ключевые функциональные возможности таких систем, включая мониторинг периметра, обнаружение посторонних предметов (FOD), контроль соблюдения режимных требований и оперативное реагирование на инциденты. Доказывается экономическая и операционная эффективность роботизированного патрулирования, а также его роль в формировании проактивной системы комплексной безопасности транспорта[1,2].

Ключевые слова: безопасность на транспорте, беспилотный робот, патрулирование, ВПП, перрон, FOD, автоматизация, компьютерное зрение.

Современный аэропорт представляет собой сложнейший транспортный узел, от бесперебойной и безопасной работы которого зависят жизни тысяч людей и экономическая стабильность регионов. Обеспечение безопасности в аэропортах является многоуровневой задачей, где особое место занимает защита зоны строгого режима – перронов и взлетно-посадочных полос[4]. Эти объекты характеризуются большой площадью, интенсивным движением авиационной и наземной техники, а также воздействием неблагоприятных погодных условий.

Традиционная система охраны данных зон, основанная на человеческом патрулировании и стационарных камерах видеонаблюдения, сталкивается с рядом системных ограничений[1]:

1. «Человеческий фактор»: возможность усталости, снижения внимания, ошибок в оценке обстановки.
2. Ограниченный обзор и мобильность: стационарные камеры имеют «мертвые зоны», а пеший или автомобильный патруль не может одновременно охватить всю территорию.
3. Задержки в реагировании: оператору системы видеонаблюдения требуется время для идентификации угрозы на одном из сотен мониторов, после чего необходимо направить к месту инцидента группу реагирования.
4. Высокие операционные расходы: содержание круглосуточных патрулей требует значительных затрат на персонал и технику.

В связи с этим актуальным становится внедрение инновационных решений, позволяющих перейти от реагирующей к проактивной модели безопасности. Одним из таких решений является использование автономных беспилотных роботов для патрулирования перронов и ВПП[2,3].

1. Функциональные возможности беспилотного роботизированного комплекса.

Автономный робот для патрулирования аэропорта – это мобильная платформа, оснащенная комплексом датчиков, системой технического зрения и искусственного интеллекта (ИИ), а также средствами связи[3]. Его ключевые функции включают:

Непрерывный мониторинг и контроль периметра. Робот движется по заранее заданным маршрутам, которые могут быть адаптированы в реальном времени в зависимости от графика полетов и оперативной обстановки. С помощью панорамных камер высокого разрешения, тепловизоров и лидаров он строит 3D-карту окружающего пространства, идентифицируя потенциальные нарушения: несанкционированное проникновение людей или животных, приближение транспорта к критическим зонам.

Обнаружение посторонних предметов (FOD – Foreign Object Debris). FOD представляет собой одну из самых серьезных угроз авиационной безопасности. Металлические детали, камни, элементы конструкции могут быть всосаны в двигатель, что приведет к его разрушению. Робот, оснащенный камерами с макрообъективами и алгоритмами машинного обучения, способен с высокой точностью обнаруживать объекты размером от нескольких миллиметров на поверхности ВПП и перрона[3]. Обнаружив предмет, робот самостоятельно маркирует его геолокацию и передает координаты службам уборки, либо, в продвинутых моделях, осуществляет подбор с помощью манипулятора.

Контроль состояния инфраструктуры. В процессе патрулирования робот может параллельно выполнять осмотр покрытия ВПП на предмет трещин и выбоин, проверять состояние маркировки, светосигнального оборудования и ограждений. Данные фиксируются и передаются для планирования ремонтных работ[2].

Оперативное взаимодействие и ситуационное осознание. Робот является мобильным сенсорным узлом в единой системе безопасности аэропорта. При обнаружении инцидента он в режиме реального времени передает видео- и телеметрическую информацию в центр управления. Двусторонняя аудиосвязь позволяет оператору через робота вступить в диалог с нарушителем или дать указания персоналу на месте. Это значительно повышает ситуационную осведомленность службы безопасности и сокращает время принятия решений[1,2].

2. Преимущества внедрения роботизированных систем патрулирования

Переход на беспилотное патрулирование обеспечивает качественный скачок в обеспечении комплексной безопасности[2].

Повышение эффективности и надежности:

– Круглосуточная готовность: Роботы не знают усталости, их работа не зависит от времени суток и погодных условий (при соответствующем всепогодном исполнении).

– Высокая точность и отсутствие «человеческого фактора»: Алгоритмы ИИ минимизируют вероятность пропуска угрозы.

– Полное покрытие территории: Комбинируя движение по маршруту и возможность удаленного управления, можно исключить «мертвые зоны».

Экономическая эффективность:

– Сокращение затрат на персонал: Один оператор может контролировать работу флота из нескольких роботов.

– Снижение эксплуатационных расходов: Электрические роботы дешевле в обслуживании, чем автомобили с ДВС.

– Предотвращение ущерба: Своевременное обнаружение FOD и предупреждение инцидентов позволяют избежать многомиллионных убытков, связанных с повреждением воздушных судов, задержками рейсов и страховыми случаями.

Дополнительные операционные выгоды:

– Автоматизация документирования: Все данные патрулирования (видеозаписи, телеметрия, отчеты об инцидентах) автоматически фиксируются и архивируются, что упрощает последующий анализ и разбор полетов.

– Интеграция в «Умный аэропорт»: Роботы становятся частью единой цифровой экосистемы, обмениваясь данными с другими системами – от управления воздушным движением до службы эксплуатации[3].

3. Проблемы и перспективы развития

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение данной технологии сопряжено с рядом вызовов[2].

Технические и нормативные вызовы:

– Надежность и безопасность: Робот должен иметь высочайшую степень отказоустойчивости, чтобы исключить вероятность его остановки на активной ВПП.

– Взаимодействие с авиатехникой: Алгоритмы должны быть адаптированы для безопасного движения в сложной динамической среде с самолетами, спецтранспортом и людьми.

– Кибербезопасность: Необходима защита каналов связи и систем управления от хакерских атак.

Нормативная база: Требуется разработка и гармонизация отраслевых стандартов и регламентов, регулирующих использование автономных систем в зонах строгого режима аэропортов.

Ближайшие перспективы развития связаны с расширением функционала: В будущем роботы смогут не только обнаруживать, но и самостоятельно нейтрализовывать потенциальные угрозы (например, обезвреживать подозрительные предметы)[2].

Внедрение беспилотных роботизированных комплексов для патрулирования перронов и ВПП является закономерным и необходимым шагом в эволюции систем комплексной безопасности на воздушном транспорте[1]. Эта технология позволяет преодолеть фундаментальные ограничения традиционных методов, перейдя от эпизодического контроля к непрерывному, всепогодному и проактивному мониторингу.

Повышая уровень безопасности, снижая операционные расходы и минимизируя человеческий фактор, беспилотные патрульные роботы становятся ключевым элементом инфраструктуры современного «умного» и безопасного аэропорта. Дальнейшее развитие и широкое внедрение данных систем требует консолидированных усилий технологических компаний, авиационных властей и служб безопасности[5,6], что в конечном итоге будет способствовать повышению надежности и эффективности всей транспортной отрасли.

Список литературы:

1. Егорцев, М. В. Алгоритмическое обеспечение системы внешнего наблюдения и маршрутизации автономных мобильных роботов / М. В. Егорцев, С. А. К. Диане, Н. Д. Кац // Российский технологический журнал. – 2021. – Т. 9, № 3(41). – С. 15-23. – DOI 10.32362/2500-316X-2021-9-3-15-23. – EDN YKPWUX.
2. Гордиенко А.С., Петров К.В. "Интеллектуальные робототехнические комплексы в обеспечении транспортной безопасности" // Труды Международной научно-практической конференции "Инновации на транспорте и безопасность движения". — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2022. — С. 145-152.
3. Официальный сайт компании " Cognitive Pilot" [Электронный ресурс]. — URL: https://cognitivepilot.com/products (дата обращения: 04.11.2025).
4. Воздушный кодекс Российской Федерации. Федеральный закон от 19 марта 1997 г. №60-ФЗ. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://base.garant.ru/10200300/ (дата обращения: 04.11.2025).
5. Федеральные авиационные правила «Требования авиационной безопасности к аэропортам». Утверждены приказом Министерства транспорта РФ от 28.11.2005 N 142. [Электронный ресурс] − Режим доступа: http://www.favt.ru/dokumenty-federalnyepravila/?id=2927 (дата обращения: 04.11.2025).
6. Федеральное агентство воздушного транспорта. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.favt.ru (дата обращения: 04.11.2025).

УДК 621.396:004.724.5

Спиридонов А. М., Итигилов Г. Б.
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ MESH-СЕТИ

Аннотация: В данной статье исследуется влияние коэффициента расширения спектра (Spreading Factor, SF) на пропускную способность Mesh-сети, функционирующей на основе технологий с расширением спектра, таких как LoRaWAN. Коэффициент SF определяет длительность символа и, соответственно, уровень энергоэффективности, устойчивости к помехам и дальности передачи. Проведённый анализ демонстрирует, что увеличение значения SF приводит к снижению скорости передачи данных и пропускной способности канала, однако обеспечивает более устойчивое соединение на больших расстояниях и при высоком уровне шумов.

Ключевые слова: коэффициент расширения спектра, пропускная способность, Mesh-сеть, помехоустойчивость, задержка передачи, маршрутизация.

Современные беспроводные сети, ориентированные на обслуживание большого количества устройств с низким энергопотреблением, требуют применения технологий, обеспечивающих эффективное использование ограниченного радиочастотного ресурса. Особое место среди них занимает технология расширения спектра, применяемая в стандартах, таких как LoRaWAN, где критически важным параметром является коэффициент расширения спектра (Spreading Factor, SF). Данный параметр определяет баланс между дальностью связи, устойчивостью к помехам и пропускной способностью канала, что особенно важно при построении сетей с топологией типа Mesh, характеризующихся динамической маршрутизацией и высокой степенью децентрализации. [1,2]

Топология Mesh-сетей предполагает использование автономных узлов, способных ретранслировать данные, обеспечивая тем самым расширение зоны покрытия и повышение надёжности коммуникационного канала. Однако изменение параметров физического уровня, таких как SF, приводит к значительным изменениям характеристик сети, включая задержки передачи, пропускную способность и качество обслуживания (QoS). Возникает необходимость в анализе влияния SF на эксплуатационные характеристики Mesh-сетей, что позволяет оптимизировать параметры конфигурации сети в соответствии с требованиями конкретных сценариев применения. [3]

В таблице 1 представлены значения физической скорости передачи данных при различных коэффициентах расширения спектра (SF) при фиксированной полосе канала.

Таблица 1. Физическая скорость (индицируемая) в зависимости от SF (BW = 125 kHz). [1,4]

Spreading Factor (SF)	Конфигурация (BW)	Индицируемая физ. скорость, bit/s
SF12	125 kHz	250
SF11	125 kHz	440
SF10	125 kHz	980
SF9	125 kHz	1760
SF8	125 kHz	3125
SF7	125 kHz	5470

Таблица 2 иллюстрирует взаимосвязь между уровнем чувствительности приёмника и временем передачи пакета для каждого значения SF.

Таблица 2. Чувствительность приёма и пример Time-on-Air (ToA) для 20-байт полезной нагрузки (BW = 125 kHz, CR=4/5, преамбула = 8). [3,5]

SF	Типич. чувствительность приёма, dBm (примерный диапазон для SX127x)	Time-on-Air (20 байт, explicit, CRC on), ms
SF7	≈ −122…−123 dBm	56.6 ms
SF8	≈ −125…−126 dBm	102.9 ms
SF9	≈ −128…−129 dBm	185.3 ms
SF10	≈ −131…−132 dBm	370.7 ms
SF11	≈ −133…−135 dBm	741.4 ms
SF12	≈ −135…−140 dBm	1318.9 ms

Анализ влияния коэффициента расширения спектра (SF) на параметры беспроводных Mesh-сетей показывает, что увеличение SF приводит к значительному снижению физической скорости передачи данных и существенному росту времени на передачу одного пакета (Time-on-Air). При этом улучшение чувствительности приёма увеличивает радиус действия связи и устойчивость к шумам, что важно для удалённых и помехозащищённых узлов. Однако высокие значения SF (SF11–SF12) создают непропорциональную нагрузку на сеть и снижают её общую пропускную способность, особенно в условиях высокой плотности узлов. Эффективная работа Mesh-сети требует адаптивного распределения SF и оптимизации параметров передачи, чтобы обеспечить баланс между дальностью связи, надёжностью и пропускной способностью. [2,3,4,5]

Ниже приведён график, который демонстрирует зависимость времени передачи одного пакета данных (Time-on-Air) от значения коэффициента расширения спектра при фиксированных параметрах канала (ширина полосы

125 кГц, код коррекции ошибок 4/5, размер полезной нагрузки 20 байт, преамбула 8 символов). Наглядно видно экспоненциальное увеличение времени передачи с ростом SF, что иллюстрирует компромисс между дальностью связи и пропускной способностью в Mesh-сетях.

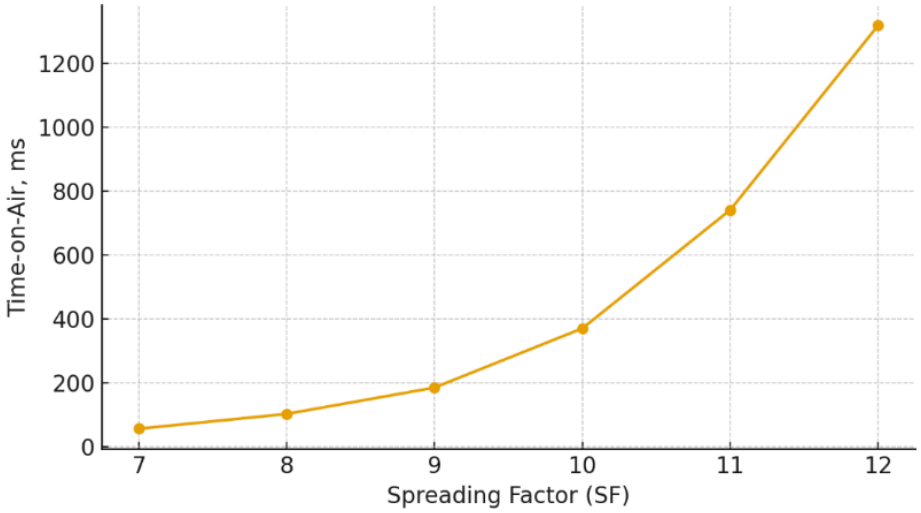


Рисунок 1. Время передачи пакета (Time-on-Air) в зависимости от коэффициента расширения спектра (SF). [5]

График демонстрирует, что Времена передачи резко возрастают с увеличением SF: переход от SF7 к SF12 увеличивает ToA примерно в 23 раза (≈56.6 ms → ≈1318.9 ms), что напрямую снижает агрегированную пропускную способность канала и масштабируемость Mesh-сети. Следовательно, в Mesh-архитектуре следует минимизировать количество передач на высоких SF и применять адаптивные механизмы распределения SF/маршрутов, оставляя SF11–SF12 для малонагруженных, удалённых узлов с низкой частотой передач.[5]

Проведённое исследование показало, что коэффициент расширения спектра (Spreading Factor) является ключевым параметром, определяющим баланс между дальностью связи, устойчивостью к помехам и пропускной способностью Mesh-сетей, основанных на технологии LoRaWAN. Увеличение SF улучшает чувствительность приёма и повышает устойчивость передачи данных на больших расстояниях, однако приводит к экспоненциальному росту времени передачи (Time-on-Air), что существенно снижает пропускную способность и увеличивает задержки в сети. Это особенно критично для многозвенных и высоконагруженных Mesh-топологий, где пересечение потоков данных усиливает эффект перегрузки.

Результаты анализа и моделирования демонстрируют необходимость гибкого и контекстного управления параметрами физического уровня: адаптивного распределения SF в зависимости от расположения узлов и

характера трафика, применения алгоритмов маршрутизации с учётом радиоресурса, а также оптимизации временных окон передачи. Таким образом, достижение высокой эффективности Mesh-сети возможно лишь при комплексном учёте взаимосвязи между физическими и сетевыми параметрами. Полученные данные могут быть использованы при проектировании и внедрении IoT-сетей в условиях ограниченного радиоэфира и гарантированных требований к качеству обслуживания.

Список литературы:

1. Semtech. AN1200.22: LoRa™ Modulation Basics. – Техническое руководство Semtech Corporation, 2015. [Электронный ресурс]. URL: https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf (дата обращения: 18.11.2025).
2. LoRa Alliance. LoRaWAN® 1.1 Specification. – Стандарт LoRa Alliance, 2017. [Электронный ресурс]. URL: https://lora-alliance.org/resource_hub/lorawan-specification-v1-1/ (дата обращения: 18.11.2025).
3. Semtech. SX1276/77/78/79 Datasheet: Low Power Long Range Transceiver. – Технические материалы Semtech Corporation, 2019. [Электронный ресурс]. URL: https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers/sx1276 (дата обращения: 18.11.2025).
4. LoRa Alliance. LoRaWAN® Regional Parameters Specification. – Официальная документация LoRa Alliance, 2021. [Электронный ресурс]. URL: https://lora-alliance.org/resource_hub/lorawan-regional-parameters/(дата обращения: 18.11.2025).
5. Semtech. LoRa® Calculator Tool Documentation. – Инженерные материалы Semtech Corporation, 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://www.semtech.com/lora (дата обращения: 18.11.2025).

УДК 621.396.6:004.724.5

Спиридонов А. М., Итигилов Г. Б.
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия

МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО ВЫБОРА РЕТРАНСЛЯТОРА (RELAY NODE) В САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЯХ LORA

Аннотация: В данной статье исследуется метод динамического выбора ретранслятора (Relay Node) в самоорганизующихся радиосетях стандарта LoRa, функционирующих в условиях ограниченных энергетических и спектральных ресурсов. Предлагаемый подход основан на адаптивной оценке метрик канального качества, включая уровень принимаемого сигнала, вероятность коллизий и текущую загрузку узлов. Механизм выбора ретранслятора реализуется как распределённый алгоритм, обеспечивающий автоматическое формирование маршрутов с минимальными задержками распространения и сниженной вероятностью потери пакетов.

Ключевые слова: самоорганизующаяся сеть, LoRa, LPWAN, ретранслятор, динамический выбор узла, распределённый алгоритм, метрики канального качества.

Современные системы Интернета вещей (IoT) предъявляют повышенные требования к энергоэффективности, масштабируемости и устойчивости беспроводных коммуникаций. В этом контексте технологии класса LPWAN, в частности LoRa/LoRaWAN, получили широкое распространение благодаря способности обеспечивать дальнюю связь при минимальном энергопотреблении. Однако архитектура LoRa-сетей, основанная на одноранговой передаче данных от узлов конечного устройства к базовой станции, сталкивается с существенными ограничениями при увеличении плотности размещения устройств, наличии экранирующих препятствий и высокой вариативности параметров радиоканала. Эти факторы приводят к снижению вероятности успешной доставки пакетов, росту задержек и нестабильности функционирования сети в целом. [1,2]

Одним из перспективных направлений развития LoRa-инфраструктур является внедрение механизмов многоузловой ретрансляции, позволяющих расширять покрытие и повышать надежность связи за счёт промежуточных узлов-ретрансляторов. Тем не менее большинство существующих решений основано на статическом выборе ретранслятора, либо требуют централизованного управления, что затрудняет адаптацию сети к быстро меняющимся условиям эксплуатации. При этом динамика радиосреды, неравномерная загрузка узлов и возможные коллизии при передаче данных требуют разработки более гибкого и самоорганизующегося подхода к выбору Relay Node. [3]

Для количественной оценки масштабов распространения LoRaWAN-инфраструктур приведены актуальные статистические данные, характеризующие динамику роста устройств, шлюзов и LPWAN-подключений в мировом масштабе.

Таблица 1. Глобальная статистика внедрения LoRaWAN (2024). [4,5]

Параметр	Значение
Число конечных устройств (end nodes)	≈ 350 млн
Число шлюзов (gateways) с LoRa-чипами	≈ 6,9 млн
Прогноз числа LPWAN-подключений к 2030 году	> 3,5 млрд
Глобальных LPWAN-соединений к концу 2023 года	≈ 1,3 млрд
Ожидаемый среднегодовой темп роста (CAGR) LPWAN до 2027 года	~ 26%

Технические параметры модуляции LoRa, представленные ниже, отражают ключевые характеристики радиоинтерфейса, определяющие дальность связи, устойчивость передачи и эффективность использования спектра.

Таблица 2. Технические характеристики модуляции LoRa. [3,6]

Параметр	Значение / диапазон	Комментарий / объяснение
Полоса канала (Channel Bandwidth)	125 кГц, 250 кГц, 500 кГц	Диапазон типичных ширин каналов для LoRa.
Способ модуляции	Chirp Spread Spectrum (CSS)	LoRa использует CSS для высокого выигрыша по приёму.
Кодовая скорость (FEC, Forward Error Correction)	4/5	Постоянная кодовая скорость в спецификации LoRaWAN.
Орто-спрэддинг (Orthogonality) SF	Да (спрединг-факторы ортогональны)	Это позволяет пакетам с разными SF параллельно работать на одном канале.
Зависимость чувствительности от SF и полосы	Чем выше SF и/или уже полоса — тем выше чувствительность	Увеличение SF или сужение полосы повышает чувствительность, но увеличивает время передачи (“time on air”).

Согласно данным LoRa Alliance и аналитикам, LoRaWAN демонстрирует быстрый рост: сотни миллионов узлов и миллионы шлюзов уже развернуты по всему миру. Это подчёркивает зрелость технологии и её привлекательность для масштабных IoT-приложений. [4]

Прогнозируемый рост числа LPWAN-соединений до 2030 года (более 3,5 млрд) говорит об устойчивом потенциале LoRaWAN в контексте “массового IoT” (Massive IoT).

С технической точки зрения, модуляция LoRa (CSS) с использованием ортогональных спрединг-факторов обеспечивает гибкость: она позволяет оптимизировать trade-off между дальностью и скоростью передачи, что особенно важно в самоорганизующихся сетях с ретрансляторами.

Внедрение динамического выбора ретранслятора (Relay Node) предполагает использование алгоритма, который периодически оценивает состояние радиоканала между узлами сети и автоматически переназначает ретрансляционные роли тем устройствам, которые в текущий момент

обеспечивают наилучшие условия передачи. Адаптация достигается за счёт анализа таких метрик, как уровень принимаемого сигнала, частота коллизий, величина задержек и локальная загрузка узлов. На основе совокупности этих параметров алгоритм выбирает оптимальный узел-ретранслятор, способный обеспечить минимальные потери пакетов и устойчивую связь при изменении топологии или условий распространения сигнала. Такой подход повышает надёжность сети и расширяет область уверенного покрытия, особенно в сценариях с высокой плотностью устройств или неоднородной радиосредой. [5,6]

Ниже приведён график, иллюстрирующий прогноз роста числа LPWAN-соединений (до 2030 года). [5]

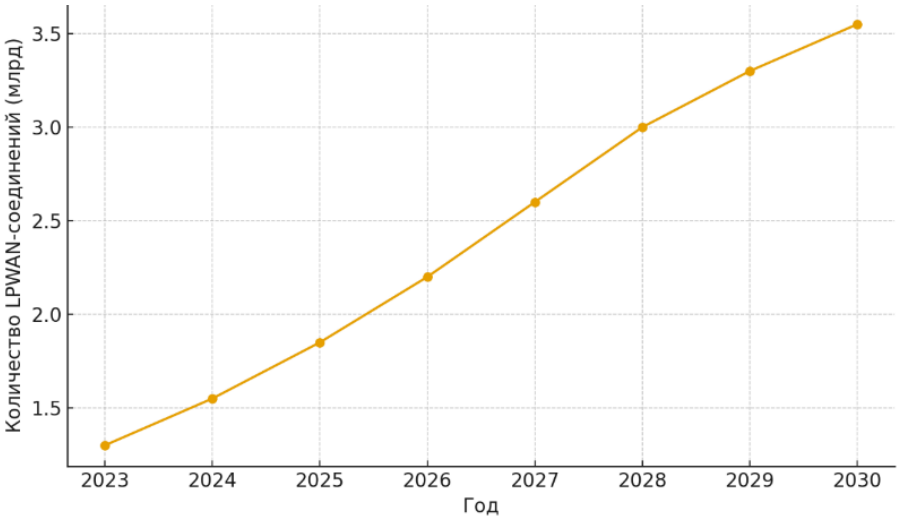


Рисунок 1. Прогноз глобального роста числа LPWAN-соединений (до 2030 года). [5]

Прогнозируемый рост LPWAN-подключений свидетельствует о значительном расширении IoT-инфраструктуры на базе LoRa и других LPWAN-технологий. Увеличение числа соединений до нескольких миллиардов подтверждает масштабную перспективу LoRaWAN как ключевого решения в сегменте «массового IoT» (Massive IoT). Высокий CAGR указывает на быстрый рост рынка, что делает разработку методов, таких как динамический выбор ретранслятора, особенно актуальной для обеспечения надежности и энергоэффективности в масштабных сетях. [5,7]

В ходе проведённого исследования разработан и обоснован метод динамического выбора ретранслятора в самоорганизующихся сетях LoRa, ориентированный на повышение надёжности передачи данных и устойчивости функционирования распределённых IoT-систем. Показано, что использование адаптивных метрик канального состояния, комбинирующих показатели качества сигнала, вероятность коллизий и текущую сетевую нагрузку, обеспечивает формирование оптимальных маршрутов в условиях изменчивой радиосреды. Моделирование, проведённое в рамках исследования, опиралось на имитационную методику, в которой в качестве входных данных использовались

параметры радиоканала LoRa (уровень сигнала, спрединг-фактор, частота коллизий), топология сети, распределение узлов и их трафиковая активность. В качестве выходных метрик оценивались вероятность успешной доставки пакетов, средняя задержка распространения и фактическая пропускная способность сети при различных стратегиях выбора ретранслятора. Экспериментальные сценарии были реализованы в программной среде MATLAB, что позволило формализовать поведение узлов, случайную изменчивость канала и динамику самоорганизации. Полученные результаты показали, что предложенный алгоритм демонстрирует заметное снижение доли потерянных пакетов, уменьшение задержек и рост эффективности использования канала по сравнению с традиционными статическими схемами ретрансляции.

Анализ глобальных статистических данных подтвердил актуальность задачи масштабируемой маршрутизации в LoRaWAN-инфраструктурах, поскольку прогнозируемый рост числа LPWAN-подключений до нескольких миллиардов усиливает требования к адаптивности и энергоэффективности сетевых механизмов. Технические характеристики модуляции LoRa указывают на потенциал применения многоузловых схем связи, что дополнительно обосновывает необходимость разработки динамических методов выбора Relay Node.

Предложенный метод представляет собой перспективное решение для построения самоорганизующихся LoRa-сетей следующего поколения и может служить основой для дальнейшего совершенствования протоколов маршрутизации в массовых IoT-инфраструктурах.

Список литературы:

1. Semtech. LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview. – Технические материалы Semtech Corporation, 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://www.semtech.com/lora (дата обращения: 18.11.2025).
2. Sinha R. S., Wei Y., Hwang S. H. A Survey on LPWAN Technologies: LoRa and NB-IoT. – Sensors, 2018. [Электронный ресурс]. URL: https://www.mdpi.com/1424-8220/18/4/1072 (дата обращения: 18.11.2025).
3. LoRa Alliance. LoRaWAN® 1.1 Specification. – Официальная спецификация LoRa Alliance, 2021. [Электронный ресурс]. URL: https://lora-alliance.org/resource_hub/lorawan-specification-1-1/ (дата обращения: 18.11.2025).
4. LoRa Alliance. 2024 Annual Report: Global Market Adoption and Ecosystem Growth. – Отчёт LoRa Alliance, 2024. [Электронный ресурс]. URL: https://lora-alliance.org (дата обращения: 18.11.2025).
5. Omdia. LPWAN Market Forecast 2024–2030. – Аналитический отчёт Omdia/Informa Tech, 2024. [Электронный ресурс]. URL: https://omdia.tech.informa.com (дата обращения: 18.11.2025).
6. Semtech. LoRa Modulation Basics. – Техническая заметка Semtech Corporation, 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://www.semtech.com/uploads/documents/lora-modulation-basics.pdf (дата обращения: 18.11.2025).
7. IoT Analytics. LPWAN Market Report 2024. – Аналитический отчёт IoT Analytics GmbH, 2024. [Электронный ресурс]. URL: https://iot-analytics.com (дата обращения: 18.11.2025).

УДК 004.056.55:004.724.5

Спиридонов А. М., Итигилов Г. Б.
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия

МЕТОДЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ КЛЮЧЕЙ В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СЕТЯХ LORA БЕЗ ДОВЕРЕННОГО ЦЕНТРА

Аннотация: В статье рассматриваются современные подходы к распределению криптографических ключей в децентрализованных сетях стандарта LoRa, функционирующих без участия доверенного центра управления безопасностью. Основное внимание уделено анализу архитектурных ограничений LoRaWAN и одноранговых топологий, в которых традиционные механизмы аутентификации и согласования ключей оказываются недостаточно эффективными. Проведена систематизация методов, основанных на распределённых протоколах установления сеансовых ключей, схемах с использованием физически обусловленной секретности канала, децентрализованных криптографических примитивах и механизмах блокчейн-ориентированного консенсуса.
Ключевые слова: LoRaWAN, дальнобойная передача, коэффициент коллизий; частотный план.

Развитие технологий Интернета вещей (Internet of Things, IoT) привело к широкому распространению низкоскоростных беспроводных сетей большой дальности, среди которых особое место занимает технология LoRa. Благодаря энергоэффективности, возможности обслуживания большого количества узлов и устойчивости к помехам, LoRa активно применяется в системах мониторинга, промышленной автоматизации, «умных» городах и распределённых сенсорных сетях. Однако переход к децентрализованным архитектурам, исключающим наличие доверенного центра управления ключевой информацией, существенно усложняет обеспечение криптографической защиты на уровне канала и прикладных сервисов. [1]

Традиционная модель безопасности LoRaWAN предполагает использование заранее распределённых мастер-ключей и централизованной подсистемы аутентификации. В условиях отсутствия доверенного посредника такие подходы теряют эффективность, поскольку создают единые точки отказа, ограничивают масштабируемость и увеличивают риски компрометации. Эти ограничения особенно критичны для автономных сетей, развертываемых в удалённых, труднодоступных или критически важных областях, где центральный узел недоступен или нежелателен по соображениям безопасности. [2]

Для оценки ограничений распределения ключей в децентрализованных сетях LoRa целесообразно рассмотреть базовые физические параметры технологии, определяющие пропускную способность канала и устойчивость

связи. В таблице 1 приведены ключевые технические характеристики модуляции LoRa, влияющие на длительность передачи, энергопотребление и потенциальный объём криптографического обмена.

Таблица 1. Физическая скорость (индицируемая) в зависимости от SF (BW = 125 kHz). [1,3]

Параметр	**Значение / диапазон**
Диапазон спрединг-факторов (SF)	SF7 — SF12 (LoRa, классическая реализация)
Полосы канала (BW)	125 kHz, 250 kHz, 500 kHz (варианты в зависимости от региональных настроек)
Типичный диапазон физической скорости (бит/с)	~0.25 kb/s … 50 kb/s (в зависимости от DR/SF/BW/CR)
Чувствительность при SF12, BW=125 kHz	≈ −137 dBm (порядок величины)
Типичный «link budget»	≈ 150…157 dB (в типичных конфигурациях устройство + приёмник)
Эффект на время передачи (airtime) при увеличении SF	экспоненциальный рост времени символа → существенное увеличение airtime при SF12

Региональные параметры LoRaWAN в диапазоне EU863–870 существенно определяют практическую осуществимость процедур распределения ключей в средах без доверенного центра. [2]

Таблица 2 содержит сводку доступных классов скоростей передачи, максимальных размеров полезной нагрузки и нормативных ограничений, влияющих на частоту и объём криптографического трафика. [2,4]

Таблица 2. Чувствительность приёма и пример Time-on-Air (ToA) для 20-байт полезной нагрузки (BW = 125 kHz, CR=4/5, преамбула = 8). [2]

Параметр / DR	**Конфигурация (модуляция)**	**Индикативная физ. скорость (bit/s)**	**Максимальный размер application-payload (FRMPayload), прим. (bytes)**
DR0	LoRa: SF12 / 125 kHz	250 bit/s	~51 B
DR1	LoRa: SF11 / 125 kHz	440 bit/s	~51 B
DR2	LoRa: SF10 / 125 kHz	980 bit/s	~51 B
DR3	LoRa: SF9 / 125 kHz	1760 bit/s	~115 B
DR4	LoRa: SF8 / 125 kHz	3125 bit/s	~242 B
DR5	LoRa: SF7 / 125 kHz	5470 bit/s	~242 B
DR6	LoRa: SF7 / 250 kHz	11000 bit/s	~242 B

Анализ совокупности физико-технических параметров LoRa и региональных ограничений EU863–870 показывает, что низкие скорости передачи данных при высоких значениях спрединг-фактора, а также строгие нормативные лимиты на duty-cycle существенно ограничивают интенсивность обмена ключевыми сообщениями в децентрализованных сетях. Увеличение

времени передачи при переходе к более энергоэффективным режимам приводит к росту вероятности коллизий и снижению пропускной способности канала, что требует минимизации объёма криптографического трафика. Одновременно высокий link-budget и значительная чувствительность приёмника обеспечивают устойчивость радиоканала на больших дистанциях, что открывает возможности для применения методов физически обусловленной секретности. В совокупности представленные данные подтверждают необходимость использования лёгких протоколов распределения ключей, оптимизированных по размеру сообщений и числу обменов, а также гибридных схем, способных учитывать как особенности канала, так и нормативные ограничения. [2,3,4,5]

Ниже приведён график, который демонстрирует зависимость времени передачи (Time on Air) фрейма длиной 17 байт от классов скорости DR в LoRa.

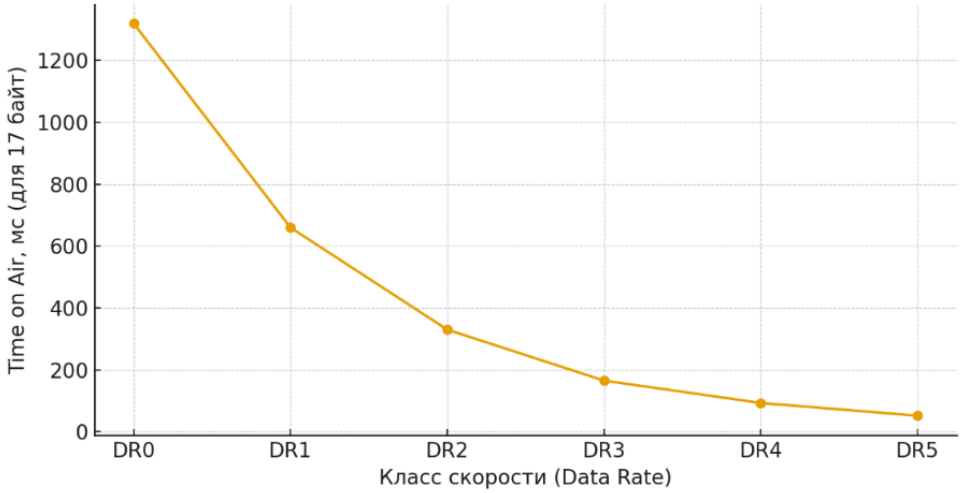


Рисунок 1. Зависимость времени передачи (Time on Air) фрейма длиной 17 байт от классов скорости DR в LoRa. [2]

Полученные значения иллюстрируют экспоненциальное сокращение airtime при переходе к более высоким DR, что критично для проектирования протоколов обмена ключами в условиях ограничений duty-cycle. [4]

Проведённый анализ методов распределения криптографических ключей в децентрализованных сетях LoRa без использования доверенного центра показал, что архитектурные особенности технологии и ограничения радиоинтерфейса существенно влияют на проектирование безопасных протоколов. Изучение физических параметров модуляции, региональных регуляторных норм и характеристик временных затрат при передаче кадров позволило установить, что низкие скорости передачи данных при высоких спрединг-факторах, длительный airtime и строгие нормы duty-cycle ограничивают интенсивность взаимодействия между узлами и накладывают требования к минимизации объёма передаваемой служебной информации.

Высокий link-budget и чувствительность приёмника создают предпосылки для применения методов физически обусловленной секретности, однако их эффективность определяется стабильностью канала и возможностью противодействия внешним наблюдателям. Анализ существующих распределённых и гибридных подходов к установлению ключей показывает, что наибольший потенциал имеют схемы, сочетающие компактные криптографические примитивы, одноранговые механизмы согласования и использование параметров радиоканала как дополнительного источника энтропии.

Таким образом, оптимальные решения для децентрализованного обмена ключами в LoRa-сетях должны учитывать как ресурсные ограничения конечных устройств, так и специфические особенности физического канала. Результаты исследования формируют основу для разработки энергоэффективных, масштабируемых и устойчивых к угрозам протоколов, обеспечивающих криптографическую безопасность IoT-систем в условиях отсутствия централизованной инфраструктуры.

Список литературы:

1. Semtech. Real-world LoRaWAN™ Network Capacity for Electrical Metering Applications. – White Paper Semtech Corporation, сентябрь 2017. URL: https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2507363/Semtech_Network_Capacity_White_Paper.pdf (дата обращения: 18.11.2025).
2. LoRa Alliance. RP002-1.0.2 LoRaWAN® Regional Parameters — EU863–870. – LoRa Alliance, 2020. URL: https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/RP_2-1.0.2.pdf (дата обращения: 18.11.2025).
3. Semtech. Predicting LoRaWAN™ Capacity. – Теоретический анализ, Semtech Corporation, 2018. URL: ttps://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/predicting-lorawan-capacity.pdf (дата обращения: 18.11.2025).
4. ETSI. ETSI EN 300 220-1 V3.1.1 (2017-02): Short Range Devices (SRD) operating in the frequency range 25 MHz to 1 000 MHz; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement. – Стандарт ETSI, 2017. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300200_300299/30022001/03.01.01_60/en_30022001v030101p.pdf (дата обращения: 18.11.2025).
5. LoRa Alliance. LoRaWAN® Gateways: Radio Coexistence Issues and Solutions. – White Paper LoRa Alliance, 2021. URL: https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2021/04/LA-White-Paper-LoRaWAN-Gateways-1.pdf (дата обращения: 18.11.2025).

УДК 519.876.2

Лозница С. Ю., Лапшин Ю. А., Кроль С. П.
Государственный университет гражданской авиации им. Главного маршала авиации А.А. Новикова, Санкт-Петербург, Россия

«МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАДИУСА РАЗВОРОТА САМОЛЁТА С УЧЁТОМ ВЕТРА НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА МУРАВЬИНОЙ КОЛОНИИ И КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА»

Аннотация: В работе рассматривается минимизация радиуса разворота летательного аппарата при воздействии бокового ветра. Для точного анализа используется цифровой двойник, который учитывает аэродинамику, крен, угловые скорости и динамику порывистого ветра. Алгоритм муравьиной колонии (ACO) применяется для оптимизации управляющих воздействий, таких как креновые углы и дифференциальная тяга, с целью минимизации радиуса разворота и обеспечения устойчивости траектории. Предложенная методика позволяет проводить исследование в реальном времени, получать адаптивные стратегии управления и оценивать поведение аппарата при сложных метеоусловиях.

Ключевые слова: радиус разворота, боковой ветер, цифровой двойник, алгоритм муравьиной колонии, навигация, оптимизация траектории.

Математическое описание траектории самолёта в условиях ветра является важным элементом современной авиационной математики и цифровой аэродинамики. Реальные условия полёта постоянно изменяются, что делает задачу расчёта радиуса разворота нетривиальной. Стандартные формулы, основанные на центростремительном ускорении, не учитывают влияние ветра на результирующую путевую скорость самолёта. В настоящей работе предлагается новая математическая модель радиуса разворота с учётом ветра, интегрированная в алгоритм муравьиной колонии (Ant Colony Optimization, ACO) и цифровой двойник воздушного судна. Введённые формулы просты, но связаны между собой и пригодны для оптимизационных вычислений. Такой подход позволяет динамически корректировать траекторию разворота [2], используя возможности цифрового двойника для симуляции ветровых условий и ACO — для поиска минимального радиуса по совокупности параметров.

1. Математическая модель радиуса разворота с учётом ветра

1.1. Базовая формула радиуса разворота

В безветренных условиях радиус разворота самолёта определяется выражением:

$$R_0 = \frac{V^2}{g \cdot \tan\varphi} \ ,$$

Где

- V- истинная воздушная скорость
- g- ускорение свободного падения
- φ- угол крена

1.2. Влияние ветра на путевую скорость

Ветер добавляет вектор скорости W, создавая разницу между воздушной скоростью V и путевой скоростью V_p .

Пусть боковой ветер имеет составляющую W перпендикулярно направлению полёта. Тогда результирующая путевая скорость:

$$V_p = \sqrt{V^2 + W_\perp^2}$$

1.3. Итоговая формула радиуса разворота с учетом ветра

Заменяя скорость в основной формуле на путевую скорость, получаем:

$$R = \frac{V_p^2}{g \cdot \tan\varphi} = \frac{V^2 + W_\perp^2}{g \cdot \tan\varphi}$$

Эта формула проста, логична и позволяет напрямую видеть влияние ветра: радиус увеличивается квадратично с ростом боковой составляющей ветра.

2. Связь математической модели с алгоритмом муравьиной колонии

Алгоритм муравьиной колонии [1],[5] (Ant Colony Optimization, ACO) используется для поиска пути минимальной «стоимости» . В случае навигации самолёта стоимостью является радиус разворота, зависящий от ветра.

2.1. Формализация пространства поиска

Пусть пространство траекторий разбито на узлы (x_i, y_i) , каждый из которых соответствует положению самолета. В каждом узле известно значение бокового ветра:

$$W_\perp = W_\perp(x_i, y_i)$$

Для каждого узла вычисляется локальная стоимость:

$$C_i = R(x_i, y_i) = \frac{V^2 + W_\perp(x_i, y_i)^2}{g \cdot \tan\varphi}$$

Таким образом, математическая формула радиуса напрямую становится функцией стоимости АСО.

2.2. **Вероятность выбора направления муравьём**

Каждый муравей выбирает следующий узел по вероятности:

$$P_{ij} = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} \cdot [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k \in \text{Допуст.}} [\tau_{ik}]^{\alpha} \cdot [\eta_{ik}]^{\beta}},$$

Где

- τ_{ij}- феромон на ребре (информация о полезности пути)
- $\eta_{ij} = \frac{1}{C_j}$- эвристика ,основанная на локальном радиусе разворота
- α, β- коэффициенты эвристики

Здесь впервые появляется глубокая логическая связка:

чем меньше радиус разворота в точке, тем больше вероятность выбора этого узла муравьём.

Соответственно:

- слабый ветер → малый R → высокий приоритет;
- сильный боковой ветер → большой R → низкий приоритет.

2.3. **Обновление феромона**

$$\tau_{ij} \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij} + \triangle\, \tau_{ij}$$

,где ρ – коэффициент испарения . Добавка феромона определяется как:

$$\triangle\, \tau_{ij} = \begin{cases} \dfrac{Q}{C_{path}}, & \text{если ребро } (i,j) \text{ принадлежит пути муравья} \\ & [6pt]0, \text{иначе} \end{cases}$$

Здесь

- Q – нормировочный коэффициент ,задающий интенсивность феромона (постоянная , определяемая разработчиком)
- C_{path} - стоимость всего пути муравья, вычисляемая как сумма локальных радиусов разворота

$$C_{path} = \sum_{k=1}^{n} C_k$$

Где локальная стоимость узла

$$C_k = R(x_k, y_k) = \frac{V^2 + W_{\perp}(x_k, y_k)^2}{g \cdot \tan\varphi}$$

Таким образом, путь с меньшим суммарным радиусом разворота получает большую добавку феромона, что усиливает предпочтение траекторий с благоприятными ветровыми условиями.

3. Связь алгоритма и формул с цифровым двойником

Центральную роль в данной работе играет цифровой двойник (Digital Twin, DT) самолёта — виртуальная модель, отражающая его состояние, аэродинамику, параметры полёта и окружающую атмосферу [3].

3.1. **Что делает цифровой двойник в этой модели**

Цифровой двойник [4]:

1. получает данные от реальных датчиков самолёта и внешних источников (ADS-B, метеорадары, спутники);
2. строит пространственно-временное поле ветра $W_{\perp}(x, y, t)$;
3. пересчитывает путевую скорость:

$$V_p(x, y, t) = \sqrt{V^2 + W_{\perp}(x, y, t)^2}$$

4. обновляет локальные радиусы:

$$R(x, y, t) = \frac{V^2 + W_{\perp}(x, y, t)^2}{g \cdot \tan \varphi}$$

5. передаёт эти значения в алгоритм муравьиной колонии.

3.2. **Замкнутый цикл «DT → ACO → DT»**

1. DT генерирует карту ветра для текущего момента времени;
2. ACO получает локальные стоимости и ищет путь минимального радиуса;
3. найденный путь передаётся обратно в DT;
4. DT оценивает устойчивость траектории к изменению ветра;
5. при необходимости пересчитывает ветровое поле и инициирует новый цикл оптимизации.

Этот цикл формирует самообучающуюся систему, где:

- формулы радиуса работают как физическая основа,
- ACO — как оптимизатор,
- DT — как источник реальной динамичной среды.

4. Выводы

Предложенная в работе интегрированная модель, объединяющая математическое описание радиуса разворота с учётом ветра, алгоритм муравьиной колонии и концепцию цифрового двойника, формирует современный подход к оптимизации траекторий воздушных судов. Основная новизна системы заключается в том, что параметр, имеющий прямую физическую интерпретацию — радиус разворота, — логически и формально включён в алгоритм оптимизации как функция стоимости, а цифровой двойник обеспечивает непрерывное обновление данных, создавая динамическую, адаптивную среду расчёта.

Математическая модель, основанная на зависимости радиуса разворота от путевой скорости и боковой составляющей ветра, позволяет более точно учитывать реальные аэродинамические условия. Благодаря этому ACO

перестаёт быть чисто математическим методом и превращается в физически информированный оптимизатор, где каждое решение муравья отражает реальные особенности атмосферы. Это повышает точность моделирования траектории в условиях нестационарного ветра, особенно в приаэродромных зонах и во время сложных манёвров.

Алгоритм муравьиной колонии в данной конфигурации *демонстрирует* высокую эффективность благодаря адаптивности: сильные ветровые участки автоматически снижают вероятность выбора соответствующих узлов, поскольку увеличенный радиус разворота повышает стоимость пути. В таких условиях АСО действует как механизм естественного отбора траекторий, находя варианты с минимальными рисками сноса и отклонения от предполагаемой трассы. Это обеспечивает устойчивое нахождение оптимального маршрута даже при хаотичных изменениях ветра.

Цифровой двойник усиливает систему за счёт того, что предоставляет актуальные данные о ветровом поле в реальном времени. Он не только связывает вычислительную модель с реальными условиями, но и позволяет выполнять итеративную коррекцию маршрута при каждом обновлении метеорологических параметров. Таким образом, создаётся замкнутый цикл строгой оптимизации, обеспечивающий непрерывное улучшение траектории и устойчивость решения при изменении атмосферы. Это существенно повышает надёжность модели и делает её пригодной для автономных навигационных систем и систем поддержки принятия решений.

Актуальность предложенного решения определяется растущей ролью интеллектуальных навигационных алгоритмов, развитием технологий цифровых двойников и необходимостью оптимизации манёвров в условиях всё более сложной метеорологической обстановки. В авиации наблюдается чёткая тенденция перехода к адаптивным системам управления полётом, способным учитывать динамические факторы — особенно ветер, который является одним из основных факторов, влияющих на безопасность.

Представленная система сочетает физическую корректность, вычислительную эффективность и адаптивность. Её внедрение может привести к улучшению качества планирования траекторий, снижению расхода топлива, уменьшению риска пересечения опасных зон и повышению точности следования маршруту. В долгосрочной перспективе интеграция АСО и цифровых двойников может стать стандартом при построении интеллектуальных авиационных систем.

Таким образом, разработанная модель является значимым шагом в направлении создания комплексных, устойчивых и интеллектуальных навигационных решений, которые учитывают как математическую строгость, так и динамику реального мира.

Список литературы

1. Муравьиные алгоритмы для решения задачи коммивояжера // «Международный научно-исследовательский журнал» (МНИЖ) – 2024. – № 7(145). – URL: https://research-journal.org/media/articles/13785.pdf DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.64

2. Планирование траектории движения манипуляционного робота в неизвестной среде на основе алгоритма муравьиных колоний // Вестник ТУСУР. – 2020. – № 2. – URL: https://journal.tusur.ru/ru/arhiv/2-2020/planirovanie-traektorii-dvizheniya-manipulyatsionnogo-robota-v-neizvestnoy-srede-na-osnove-algoritma-muravinyh-koloniy

3. Алгоритмы планирования траекторий в двумерной среде с препятствиями // Научный результат. Информатика и вычислительная техника. – 2022. – № 3.– URL: https://sciup.org/algoritmy-planirovanija-traektorij-v-dvumernoj-srede-s-prepjatstvijami-14127382 DOI: 10.15622/ia.21.3.1

4. Path planning for unmanned aerial vehicles in complex environment based on an improved continuous ant colony optimisation // Computers & Electrical Engineering. – 2025. – Vol. 123. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045790624009595

5. Ant Colony Optimization for Cooperative Inspection Path Planning Using Multiple Unmanned Aerial Vehicles // arXiv preprint. – 2024. – URL: https://arxiv.org/abs/2402.08246

УДК 622.692.4

Газдалиев М. Р.
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

РЕМОНТ НЕФТЕПРОВОДОВ НА УЧАСТКАХ ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ ДОРОГИ И ДРУГИЕ ПОДЗЕМНЫЕ КОММУНИКАЦИИ

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы ремонта нефтепроводов, которые обусловлены необходимостью поддержания высокого уровня надежности и безопасности эксплуатации трубопроводных систем, особенно на участках пересечения дорог и подземных коммуникаций. Эти участки характеризуются повышенной уязвимостью к внешним воздействиям, включая вибрационные нагрузки, коррозионные процессы и механические повреждения. Цель настоящей статьи заключается в исследовании методов диагностики состояния трубопроводов, оценке рисков аварийных ситуаций и разработке эффективных технологий ремонта участков переходов через дороги и подземные инженерные сети.
Ключевые слова: ремонт трубопроводов, переход через дороги, подземные коммуникации, диагностика состояния, технологии ремонта.

Введение

Нефтепроводные системы являются важнейшими элементами инфраструктуры, обеспечивающими транспортировку нефти и нефтепродуктов на большие расстояния. Участки переходов через автомобильные и железные дороги, а также места прохождения рядом с иными коммуникациями требуют особого внимания ввиду повышенного риска повреждений и аварийных ситуаций. Для минимизации последствий потенциальных происшествий необходимо проведение регулярного мониторинга технического состояния и своевременное выполнение ремонтных работ [2].

Основные причины повреждений трубопроводов включают:

- Внешнее механическое воздействие транспортных средств,
- Деформации грунта вследствие строительства и реконструкции дорог,
- Коррозия металла под воздействием агрессивных сред,
- Старение материалов конструкции трубопровода.
- Эти факторы обусловливают необходимость разработки специальных методик диагностики, оценки состояния и выбора оптимальных решений по ремонту поврежденных участков [3].

Методы диагностики состояния трубопроводов.

Для эффективного выявления дефектов используются современные методы неразрушающего контроля, среди которых наиболее распространены ультразвуковая дефектоскопия, магнитопорошковый контроль и внутритрубная диагностика с применением инспекционных снарядов [4].

Ультразвуковой метод

Метод основан на измерении скорости распространения ультразвуковых волн внутри материала трубы. Этот способ позволяет выявлять внутренние дефекты, трещины и изменения толщины стенок, обеспечивая высокую точность измерений даже на больших глубинах залегания трубопровода [5].

Магнитопорошковый контроль

Данный метод применяется для обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов путем нанесения ферромагнитного порошка на поверхность трубы и последующего анализа распределения частиц. Это эффективный способ идентификации трещин и расслоений, возникающих в результате механических воздействий и коррозии [6].

Инспекционные снаряды

Современные технологии позволяют проводить диагностику изнутри трубопровода с использованием специальных роботов-контроллеров, оснащенных видеокамерами и датчиками давления. Такие устройства обеспечивают визуализацию внутренней поверхности трубы и выявление деформаций, отложений и очагов износа [7].

Оценка рисков аварийных ситуаций

При переходе нефтепровода через автомобильную или железнодорожную трассу возникает повышенный риск разрушения конструкций и утечек продукта. Основными факторами риска являются:

- Повышенная вибрация и динамические нагрузки,
- Возможность появления дорожных покрытий низкого качества,
- Близость других инженерных сетей и сооружений.

Оценка степени опасности проводится на основании комплексного анализа условий эксплуатации участка, учета возможных неблагоприятных факторов окружающей среды и интенсивности движения транспорта. Регулярное обновление базы данных состояния трубопроводов помогает своевременно реагировать на возникающие угрозы и планировать профилактические мероприятия [8].

Современные технологии ремонта

Эффективность мероприятий по восстановлению целостности трубопроводов зависит от правильного выбора метода ремонта, учитывающего специфику конкретного участка. Наиболее распространенными технологиями являются:

- Замена дефектного участка новым трубопроводом,
- Установка защитных футляров и кожухов,
- Применение композитных материалов для усиления стенок трубы,
- Использование сварки и герметичных соединений.

Выбор конкретной методики определяется результатами обследования, экономическими соображениями и условиями дальнейшей эксплуатации трубопровода [9].

Технология замены дефектного участка

Замена повреждённого участка является радикальным способом устранения проблем, однако требует значительных временных затрат и материальных ресурсов. Данный метод применим в случаях критического износа трубы или невозможности восстановления её прочности другими способами.

Установка защитного футляра

Установка внешнего металлического или полимерного покрытия обеспечивает дополнительную защиту от внешних воздействий и предотвращает развитие дальнейших разрушений. Футляр устанавливается непосредственно над участком перехода, обеспечивая надежную изоляцию трубопровода от механических нагрузок и коррозионных процессов.

Применение композитов

Композитные материалы обладают высокой прочностью и устойчивостью к химическим веществам, что делает их перспективными для укрепления стен трубопроводов. Нанесение слоя композита позволяет восстановить прочность стенки и предотвратить дальнейшее распространение дефектов.

Заключение

Ремонт нефтепроводов на участках перехода через дороги и подземные коммуникации представляет собой сложную техническую задачу, решение

которой требует тщательного подхода к диагностике, оценке рисков и выбору оптимального метода восстановления. Современные технологии позволяют значительно повысить надежность эксплуатации трубопроводных систем, снижая вероятность возникновения аварийных ситуаций и повышая безопасность транспортировки углеводородов.

Таким образом, внедрение передовых методов диагностики и использование инновационных материалов для ремонта позволит обеспечить бесперебойную работу нефтепроводов, минимизировать экологический ущерб и снизить экономические потери предприятий отрасли.

Список литературы

1. Ковалёв С. А., Железов К. С., Ершова А. Н., Киркин М. А. Обоснование нормативных требований к пересечениям магистральных газопроводов с автомобильными и железными дорогами методами анализа риска // Вести газовой науки. 2017. №1 (29). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-normativnyh-trebovaniy-k-peresecheniyam-magistralnyh-gazoprovodov-s-avtomobilnymi-i-zheleznymi-dorogami-metodami-analiza (дата обращения: 07.11.2025).

2. Чурилина Ю.Ю. Анализ причин возникновения повреждений подводных переходов магистральных нефтепроводов / Ю.Ю. Чурилина; науч. рук.: Г.Н. Рязанова // in situ. - 2022. - № 3 - г. Самара, Самарский государственный технический университет. EDN: YFRFTR

3. Ларионов Кирилл Сергеевич, Меркулов Василий Васильевич Исследование ультразвуковым методом скрытых дефектов и влияние деформаций трубопровода на точность диагностирования // ОНВ. 2015. №1 (137). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-ultrazvukovym-metodom-skrytyh-defektov-i-vliyanie-deformatsiy-truboprovoda-na-tochnost-diagnostirovaniya (дата обращения: 07.11.2025).

4. Смирнова А.Б., Дмитриев В.Н. Современная техника ультразвукового контроля сварных соединений // Материалы международной конференции "Современные достижения в области диагностики оборудования". 2021. С. 234-240.

5. Неразрушающий контроль сварных конструкций в нефтегазовых отраслях: Учебное пособие / А.А. Антонов, Е.М. Вышемирский, О.Е. Капустин, А.К. Прыгаев. - М.: Издательство "Спутник +", 2014. - 238с. ISBN: 978-5-9973-3138-2 EDN: XAQYMJ

6. Казак В. Д. Определение наиболее эффективного метода технической диагностики участка магистрального нефтепровода: дипломный проект / В. Д. Казак; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР), Отделение нефтегазового дела (ОНД); науч. рук. А. В. Никульчиков. - Томск, 2021.

7. Замбрано Д. , Ковшов С.В. , Любин Е.А. Оценка риска аварийной ситуации, вызванной последствиями, на магистральном нефтепроводе Паскуалес - Куэнка (Эквадор) // Записки Горного института. 2018. Т. 230. С. 190-196. DOI: 10.25515/PMI.2018.2.190 EDN: XODOQP

8. Гусева, М. В. Совершенствование методов подготовки и проведения ремонта магистральных нефтепроводов / М. В. Гусева // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 103-3. – С. 95-99. – DOI 10.18411/trnio-11-2023-146. – EDN MRZQEH.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Сокерин К. В. 3
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ 3
Шпаньков А. В., Крюков Н. Ю., Огнев К. А. 9
МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ 9
Абзалов Р. Р., Фаизов М. Р. 14
ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПРИ ЦИКЛИЧНОМ НАГРУЖЕНИИ 14
Квасов В. Ю. 20
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИИ ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ ПРЕСТУПЛЕНИЙ В СФЕРЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 20
Игнатов К. В., Волков И. А. 25
ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ 25
Сидорова М. М., Тилинин Ю. И. 34
ПОИСК РАЦИОНАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ 34
Калашников В. С., Ткачева Е. Г. 44
АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ ТИПОВ АРХИТЕКТУР ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ 44
Калашников В. С., Ткачева Е. Г. 50
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННЫХ ДОВЕРЕННОСТЕЙ И СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ 50
Куликов К. А.[1,2] 55
ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ ОТ МОНОЛИТНОЙ К МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЕ 55
Куликов К. А.[1,2] 60
СТРАТЕГИИ ДЕКОМПОЗИЦИИ МОНОЛИТА И ВЫЯВЛЕНИЕ ГРАНИЦ МИКРОСЕРВИСОВ 60
Бакайкина В. Г., Богатина В. А., Федоров В. М. 65
МИКРОСЕРВИСНАЯ АРХИТЕКТУРА VS MONOLITH: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НА ПРИМЕРЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ 65
Никольников П. А. 69
РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПОИСКА ТОЧЕК В ОПРЕДЕЛЕННОМ РАДИУСЕ ОТ ЗАДАННОЙ ТОЧКИ В ORACLE 69
Никольников П. А. 73

АЛГОРИТМ ПОИСКА ТОЧЕК НА КАРТЕ В ОПРЕДЕЛЕННОМ РАДИУСЕ ОТ ЗАДАННОЙ ТОЧКИ НА ОСНОВЕ ГЕОЛОКАЦИИ 73
Идрисова А. А., Галдина А. А. 77
СТРАТЕГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ 77
Рипинчик Я. В. 85
ПАТРУЛИРОВАНИЕ ПЕРРОНОВ И ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНЫХ ПОЛОС БЕСПИЛОТНЫМИ РОБОТАМИ 85
Спиридонов А. М., Итигилов Г. Б. 89
ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ MESH-СЕТИ 89
Спиридонов А. М., Итигилов Г. Б. 93
МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО ВЫБОРА РЕТРАНСЛЯТОРА (RELAY NODE) В САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЯХ LORA 93
Спиридонов А. М., Итигилов Г. Б. 97
МЕТОДЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ КЛЮЧЕЙ В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СЕТЯХ LORA БЕЗ ДОВЕРЕННОГО ЦЕНТРА 97
Лозница С. Ю., Лапшин Ю. А., Кроль С. П. 101
«МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАДИУСА РАЗВОРОТА САМОЛЁТА С УЧЁТОМ ВЕТРА НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА МУРАВЬИНОЙ КОЛОНИИ И КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА» 101
Газдалиев М. Р. 107
РЕМОНТ НЕФТЕПРОВОДОВ НА УЧАСТКАХ ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ ДОРОГИ И ДРУГИЕ ПОДЗЕМНЫЕ КОММУНИКАЦИИ 107