



НАУЧНЫЙ
ФОРУМ
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



№4(95)

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

МОСКВА, 2026



НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам ХСV международной
научно-практической конференции*

№ 4 (95)
Апрель 2026 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва
2026

УДК 51/53+62

ББК 22+3

Н34

Председатель редакционной коллегии:

Лебедева Надежда Анатольевна – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

Мартышкин Алексей Иванович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Вычислительные машины и системы» Пензенского государственного технологического университета;

Немирова Любовь Федоровна – канд. техн. наук, доц. кафедры конструирования и технологии изделий легкой промышленности, ГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», ООО «МИНСП»;

Старченко Ирина Борисовна – д-р техн. наук, профессор, эксперт РАН, зам. директора по учебно-научной работе, Политехнический институт (филиал) ДГТУ в г. Таганроге;

Усманов Хайрулла Сайдуллаевич – д-р техн. наук, доцент, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан, г. Ташкент.

Н34 Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам XCV междунар. науч.-практ. конф. – № 4 (95). – М.: Изд. «МЦНО», 2026. – 192 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ББК 22+3

ISSN 2541-8394

© «МЦНО», 2026

Оглавление

Статьи на русском языке	7
Технические науки	7
Раздел 1. Технические науки	7
1.1. Авиационная и ракетнокосмическая техника	7
ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ВЬЕТНАМЕ Май Винь Лонг	7
1.2. Информатика, вычислительная техника и управление	14
РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА ИНДУКЦИОННЫХ ПЕТЕЛЬ Коншина Арина Александровна	14
МЕТОДИКА АПРИОРНОЙ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ АПРОБАЦИИ Куслин Сергей Сергеевич	26
SCANGUARD: ГИБРИДНАЯ ВЕБ-СИСТЕМА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДНОСНЫХ ФАЙЛОВ Өтеулі Олжас Мейрханұлы Мурат Диас Асхатулы Айбаров Аят Айбарұлы Пягай Виктор Тимофеевич	37
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ ОШИБОК ПРИ SERIAL-ОБМЕНЕ В ПРОЕКТАХ НА ПЛАТФОРМЕ ARDUINO Романов Даниил Сергеевич	46
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПУЛЬТА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ, РЕАЛИЗОВАННОГО НА ПЛАТФОРМЕ NODE-RED, ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ НА КОМПЬЮТЕРЕ И ОДНОПЛАТНОМ КОМПЬЮТЕРЕ Самсонов Никита Александрович	56

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЫНОЧНЫХ СЦЕНАРИЕВ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ВАЛИДАЦИИ ТОРГОВЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ Солобута Алексей Викторович	69
МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ В ЦИФРОВЫХ ИНФРАСТРУКТУРАХ Чайкина Наталья Александровна Плотникова Кристина Артёмовна Воронин Дмитрий Александрович	75
1.3. Машиностроение и машиноведение	85
МОДУЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПАССИВНОЙ ЗАЩИТЫ БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ ОТ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ Стрельцов Роман Вячеславович Мирзаев Исфандиёр Садыкович	85
1.4. Радиотехника и связь	91
ЭФФЕКТ КАБАНОВА, КАК ОСНОВА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ЗАГОРИЗОНТНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ Зайцев Ефим Николаевич Секриеру Даниил Михайлович	91
1.5. Транспорт	97
РАЗРАБОТКА БЕСПИЛОТНОГО НАЗЕМНОГО АППАРАТА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ Зайцев Ефим Николаевич Югов Роман Андреевич Карпов Алексей Павлович	97
1.6. Транспортное, горное и строительное машиностроение	104
ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РАБОЧЕГО ТЕЛА В ЦИКЛЕ СО СМЕШАННЫМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ С ПОМОЩЬЮ РЕГРЕССИИ НА ПРИВЕДЁННЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ Стефановский Алексей Борисович	104

Раздел 2. Математика	118
2.1. Математическая физика	118
МАТРИЦА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ГРП	118
Сахибгараев Рамис Расилевич Фаттахов Ирик Галиханович Аленькин Илья Алексеевич Кузьмина Марина Валентиновна	
Раздел 3. Механика	126
3.1. Механика деформируемого твердого тела	126
МЕЖЛАБОРАТОРНАЯ НЕСОПОСТАВИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ ЛЬДА	126
Галиев Ильдар Мурзагитович	
Раздел 4. Физика	134
4.1. Теоретическая физика	134
ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРВОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ В БУРЕНИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН	134
Мастерова Ольга Юрьевна	
Қазақ тіліндегі мақалалар	140
1-Бөлім. Техникалық ғылымдар	140
1.1. Адам қызметінің қауіпсіздігі	140
ЙОГУРТТЫҢ САПАСЫ МЕН ҚАУІПСІЗДІГІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУ	140
1.2. Информатика, компьютер техникасы және басқару	145
ЗАМАНАУИ ІТ-ТЕХНОЛОГИЯЛАР НЕГІЗІНДЕГІ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІ	145
Алмагамбетов Азамат Сагиевич Ермеков Диас Бауыржанұлы Кайырова Жумагул Кайруллаевна	

ВТОМАТИКА ЖӘНЕ ЭКОНОМИКА ДАМУЫНДАҒЫ САНДЫҚ ЖҮЙЕЛЕР Булатов Бейбарыс Саматұлы Утешинов Данияр Мақсатұлы Кайырова Жумагул Кайруллаевна	153
ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ТАСЫМАЛДАУ ПРОЦЕСІН БАСҚАРУДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕЛЕРДІ ҚҰРУДЫҢ ЖАЛПЫ ҚАҒИДАТТАРЫ Тлеубай Алижан Дарханұлы Бекетова Фариза Рустамовна Беркешева Асель Салимжанқызы	159
1.3. Құрал жасау, метрология және ақпараттық- өлшеу құралдары мен жүйелері	164
ӨНДІРУ ЖӘНЕ ӨНДЕУ ПРОЦЕСТЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ Нұрсұлтанов Дәулет Өтегенұлы Қайрат Мирболат Сартова Асима Мусаевна	164
1.4. Радиотехника және байланыс	170
САНДЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП АҚАУЛАРҒА ЖОЛ БЕРМЕУ Қырымгерей Ислам Арынғазыұлы Аманғалиев Нұрқуат Еділұлы Кайырова Жумагул Кайруллаевна	170
1.5. Көлік	180
КҮЗЕТІЛМЕЙТІН ӨТКЕЛ БАҒДАРШАМЫН ЖАҢАРТУ Жетпісбай Нұржан Жандарбекұлы Вагнер Денис Евгеньевич Кайырова Жумагул Кайруллаевна	180

СТАТЬИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

1.1. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНОКОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ВЬЕТНАМЕ

Май Винь Лонг

магистр,

*Офицерское училище Военно-Воздушных Сил,
Вьетнам, г. Кхань Хоа*

APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR EMERGENCY MONITORING IN VIETNAM

Mai Vinh Long

Master,

*Air Force Officer's College,
Vietnam, Khanh Hoa*

Аннотация. В последние годы во Вьетнаме наблюдается значительный рост числа чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера, сопровождающихся существенными человеческими и экономическими потерями. В данной работе представлен комплексный анализ применения беспилотных авиационных систем (БАС) для мониторинга и управления при ЧС. В статье рассматривается классификация ЧС, оцениваются эксплуатационные требования к БПЛА в условиях окружающей среды Вьетнама и анализируются рациональные конфигурации БПЛА для различных сценариев, таких как лесные пожары и наводнения. На основе предварительных расчетов и оперативного анализа предложены основные летно-технические характеристики (ЛТХ) и конфигурации систем. Результаты показывают, что БПЛА малого и среднего класса являются оптимальными для мониторинга в реальном времени, раннего обнаружения и ликвидации последствий стихийных бедствий в условиях сложного рельефа местности.

Abstract. In recent years, Vietnam has experienced a significant increase in both natural and man-made disasters, causing substantial human and economic losses. This study presents a comprehensive analysis of the application of unmanned aerial vehicles (UAV) for monitoring and managing emergency situations. The paper reviews the classification of emergencies, evaluates UAV operational requirements under Vietnam's environmental conditions, and analyzes suitable UAV configurations for different scenarios such as forest fires and floods. Based on preliminary calculations and operational analysis, key flight parameters and system configurations are proposed. The results indicate that small and medium-class UAVs are optimal for real-time monitoring, early detection, and disaster response in complex terrains.

Ключевые слова: БПЛА, мониторинг ЧС, лесной пожар, наводнение, Вьетнам, воздушное наблюдение.

Keywords: UAV, emergency monitoring, forest fire, flood, Vietnam, aerial surveillance.

ВВЕДЕНИЕ

Вьетнам все чаще подвергается воздействию различных типов чрезвычайных ситуаций, включая промышленные аварии, пожары, наводнения и тайфуны. Эти события наносят серьезный ущерб инфраструктуре, окружающей среде и приводят к человеческим жертвам. Традиционные методы мониторинга и спасения часто подвергают спасательные команды высокому риску и ограничены в труднодоступных

районах. В этом контексте использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) стало эффективным технологическим решением. Системы БПЛА обеспечивают мониторинг в реальном времени, оперативный сбор данных и повышение эффективности принятия решений при управлении ЧС. Таким образом, изучение и разработка систем БПЛА, адаптированных к условиям Вьетнама, являются необходимыми и своевременными.

1 МЕТОДОЛОГИЯ

1.1 Классификация чрезвычайных ситуаций

Чрезвычайные ситуации могут быть классифицированы по их происхождению:

- Природные катастрофы: наводнения, штормы, лесные пожары;
- Техногенные катастрофы: промышленные пожары, взрывы, химические аварии;
- Биологические и экологические катастрофы;
- Социальные и антропогенные события.

Согласно статистике во Вьетнаме:

- 70–75% составляют техногенные катастрофы;
- 25–30% составляют природные катастрофы. Среди них наиболее частыми и разрушительными являются пожары и наводнения.

1.2 Классификация БПЛА для мониторинга ЧС

Согласно международным стандартам, БПЛА делятся на:

- Микро-БПЛА (радиус действия < 10 км);
- Мини-БПЛА (радиус действия до 50 км);
- Средние БПЛА (радиус действия до 100 км);
- Тяжелые БПЛА (радиус действия > 100 км).

Для мониторинга ЧС наиболее практичными являются мини- и микро-БПЛА благодаря:

- Низкой стоимости;
- Простоте развертывания;
- Высокой маневренности.

1.3 Эксплуатационные требования во Вьетнаме

Географические и климатические условия Вьетнама предъявляют строгие требования к проектированию БПЛА:

- Диапазон температур: от 0°C до 45°C;
- Влажность: 70–91%;
- Скорость ветра: ≤ 10 м/с;
- Рельеф: горные, лесные и прибрежные районы. Эти факторы напрямую влияют на устойчивость полета, продолжительность полета и характеристики датчиков.

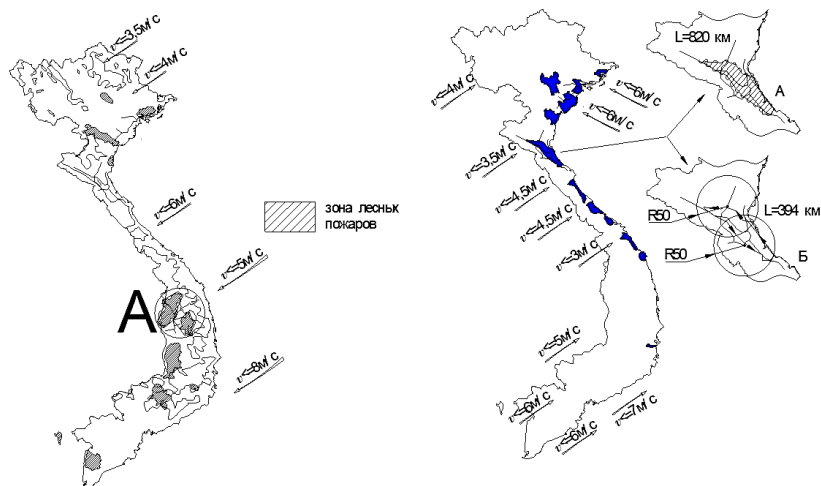


Рисунок 1. Карты лесных пожаров наводнения во Вьетнаме

1.4 Профили выполнения задач БПЛА

Мониторинг лесных пожаров: БПЛА используются для:

- Раннего обнаружения очагов возгорания;
- Мониторинга распространения огня;
- Определения зон поражения;
- Поиска пострадавших. Целевая нагрузка включает:
- Оптические камеры;
- Инфракрасные (тепловизионные) камеры.

Мониторинг наводнений:

Основные задачи:

- Определение зон затопления;
- Определение местонахождения заблокированных пострадавших.

Стратегии полета:

- Круговые маршруты для сканирования местности;
- Параллельные галсы для детального осмотра.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

2.1 Оценка параметров полета

На основе анализа рельефа и требований задачи:

- Максимальная высота рельефа: ~ 2200 м;
- Требуемая высота полета: $H \approx 2400$ м;
- Крейсерская скорость: $V \approx 100$ км/ч;
- Требуемая дальность для задачи мониторинга: $L \approx 300$ км;

– Продолжительность полета: $t \approx 3$ часа.

2.2 Требования к системе БПЛА

Исходя из расчетов и оперативных сценариев, БПЛА должен обеспечивать:

- Устойчивый полет при скорости ветра до 10 м/с;
- Способность работать в условиях высокой влажности;
- Дальнюю систему связи;
- Модульную интеграцию целевой нагрузки.

2.3 Конфигурация системы

Предложены две основные конфигурации БПЛА:

- БПЛА вертолетного типа (коптер):
 - + Подходит для локальных катастроф малого масштаба;
 - + Вертикальный взлет и посадка (ВВП);
 - + Высокая маневренность.
- БПЛА самолетного типа (с фиксированным крылом):
 - + Подходит для крупномасштабного мониторинга;
 - + Большая продолжительность и дальность полета;
 - + Эффективен для наблюдения за лесами и зонами наводнений.

Кроме того, для лесных условий может потребоваться БПЛА-ретранслятор для обеспечения передачи сигнала.



Рисунок 2. Применение коптера для передачи сигнала

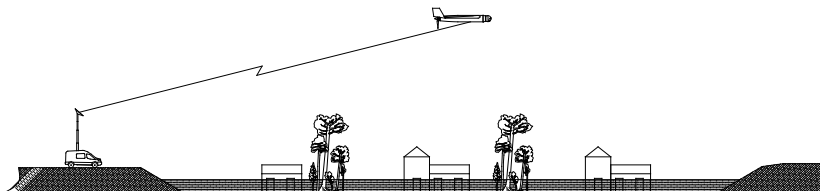


Рисунок 3. Схема применения БПЛА при мониторинге наводнения

2.4 Преимущества и ограничения

Преимущества:

- Мониторинг в реальном времени;
- Снижение риска для жизни людей;
- Доступ к удаленным районам;
- Высокая точность данных.

Ограничения:

- Ограниченная продолжительность полета малых БПЛА;
- Ограничения по связи;
- Чувствительность к погодным условиям;
- Законодательные ограничения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное исследование демонстрирует, что БПЛА являются высокоэффективными инструментами для мониторинга ЧС во Вьетнаме. Из-за сложного рельефа и климата системы БПЛА должны быть тщательно спроектированы с учетом экологических и эксплуатационных требований. Основные выводы:

- Мини- и средние БПЛА оптимальны для мониторинга ЧС;
- БПЛА самолетного типа подходят для крупномасштабных катастроф;
- Коптеры эффективны для локальных операций;
- Интеграция тепловизионных систем значительно повышает возможности обнаружения. Будущая работа должна быть сосредоточена на увеличении продолжительности полета, совершенствовании систем связи и возможностей автономной работы.

Список литературы:

1. Кочегаров А.В., Петров А.В., Плаксицкий А.Б., Коноров Д.В. Актуальность применения беспилотных летательных аппаратов для мониторинга, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. – № 1-1 (7). 2016. – С. 445-450.

2. Разработка научно-методических подходов и технологии использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве: отчет о НИР / ФГУ «Центральная база авиационной охраны лесов «Авиалесоохрана»; рук. Коносевиц В. В. – Пушкино, 2010. – 106 с.
3. Семиков В.Л, Ву Ван Тхюй. Система безопасности от чрезвычайных ситуаций во Вьетнаме // Материалы XX научно-технической конференции «Системы безопасности» СБ-2011. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. – С.152-155.
4. Смагин М.С. Применение тепловизоров для решения пожарно-спасательных задач: учебно-методическое пособие / М. С. Смагин / ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – Железногорск, 2016. – 48с

1.2. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА ИНДУКЦИОННЫХ ПЕТЕЛЬ

Коншина Арина Александровна

студент,

Национальный исследовательский

университет «МИЭТ»,

РФ, г. Зеленоград

DEVELOPMENT OF A DOMESTIC INDUCTION LOOP CONTROLLER

Konshina Arina Aleksandrovna

Student,

National Research University "MIET",

Russia, Zelenograd

Аннотация. В статье рассматривается проблема нестабильной работы имеющихся контроллеров индукционных петель в связи с дрейфом параметров колебательного контура. Проведен сравнительный анализ промышленных контроллеров VEK M1H и DoorHan Loop-1 и выявлены ключевые недостатки. На основе анализа разработан собственный отечественный контроллер индукционных петель со встроенным BLE-интерфейсом для беспроводной диагностики параметров петли.

Abstract. The article discusses the problem of unstable operation of existing induction loop controllers due to the drift of the oscillating circuit parameters. A comparative analysis of the VEK M1H and DoorHan Loop-1 industrial controllers has been conducted, and key disadvantages have been identified. Based on this analysis, a domestic induction loop controller with a built-in BLE interface for wireless loop parameter diagnostics has been developed.

Ключевые слова: индукционная петля, контроллер, частотный диапазон, BLE-модуль, помехоустойчивость.

Keywords: induction loop, controller, frequency range, BLE module, noise immunity.

Введение

Еще век назад доступ на закрытые парковки осуществлялся преимущественно ручным трудом сотрудников службы охраны, открывавших шлагбаумы. Со временем такой способ сменился специальными пультами дистанционного управления, позволяющие сократить временные затраты на въезд. Сейчас, с развитием автоматизации и цифровых технологий, шлагбаумы функционируют в автоматическом режиме. Вариаций технологических решений на рынке колоссальное количество: шлагбаумы с видеодетекцией, температурными датчиками, с индукционными петлями и пр.

Из представляемых вариантов, благодаря простоте и долговечности, лидирующее место сохраняют индукционные петли [8]. Однако их надежность и работоспособность зависит от управляющего устройства (УУ) – контроллера индукционных петель.

Основная проблема традиционных контроллеров заключается в возможной нестабильной работе в связи с дрейфом параметров колебательного контура, вызванных внешними воздействиями: повышенная влага на дорожном покрытии или скопление воды в щелях асфальта, увеличивает сопротивления контура, в связи с чем снижается добротность резонансного контура. Рекомендуемый коэффициент добротности (Q) равен [1]:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

В связи с имеющейся проблемой, вытекают ложные срабатывания шлагбаумов

Важной задачей в данной работе является разработка контроллера, способного компенсировать дрейф параметров колебательного контура и распознавать габариты транспортных средств для безопасного проезда.

1. Принципы работы индукционных петель

Принцип работы данных детекторов основан на изменении индуктивности петли. Кабель монтируется внутри дорожного покрытия и подключается к контроллеру, образуя колебательный контур с резонансной частотой:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

В самой замкнутой рамке течет переменный ток, создавая магнитное поле. По правилу Ленца, переменное магнитное поле вихревых токов старается противодействовать изменениям магнитного потока, которое индуцирует вихревые токи [4]. Автомобиль наезжает на петлю и линии поля отклоняются, уменьшая индуктивность (L) и повышая частоту (f_0). В такой момент петля активирована, что позволяет контроллеру обнаружить транспортное средство и подать сигнал на поднятие стрелы шлагбаума. Данная система удобна тем, что она не распознает людей, животных и средства индивидуальной мобильности (самокаты, велосипеды) [3].

2. Сравнительный анализ промышленных контроллеров

Перед разработкой собственного решения контроллера индукционных петель, необходимо изучить рынок уже предлагаемых вариантов, сравнить их и провести эксперименты, выявив как сильные, так и слабые стороны. Для сравнения были взяты два одноканальных детектора индукционных петель: FEIG VEK M1H1 компании FEIG ELECTRONIC (Германия) и DoorHan Loop-1 от компании DoorHan (Китай).

Контроллер VEK M1H представляет собой одноканальное устройство детектирования, выполненное на основе частотного метода измерения параметров колебательного контура. Диапазон поддерживаемых индуктивностей подключаемой петли составляет от 25 до 800 мкГн, что обеспечивает универсальность применения устройства для любых типов индуктивных датчиков, независимо от их геометрических размеров, количества витков и условий монтажа. Широкий диапазон индуктивностей исключает необходимость предварительного согласования параметров петли и контроллера, что существенно упрощает проектирование системы и снижает требования к точности изготовления петли [9].

Диапазон рабочих частот контроллера составляет 30–130 кГц. Наличие возможности выбора рабочей частоты (две ступени) позволяет адаптировать устройство к конкретным условиям эксплуатации. В первую очередь, благодаря данной функции появляется критическое значение при одновременной установке нескольких детекторов в ограниченном пространстве, по причине возможности назначения различные частоты соседним устройствам, что минимизирует эффект перекрестных наводок и исключает взаимные ложные срабатывания.

Также данное устройство имеет важную эксплуатационную характеристику, а именно наличие четырёх фиксированных уровней чувствительности, которые задаются в качестве относительного изменения

индуктивности петли $\Delta L/L$ в диапазоне от 0,01 % до 0,65 %. Градация чувствительности позволяет детектору адаптироваться к различным типам транспортных средств, обеспечивая надёжное детектирование как мотоциклов и малолитражных автомобилей (при повышенной чувствительности), так и крупногабаритного грузового транспорта (при пониженной чувствительности, что также повышает помехоустойчивость системы).

Однако, несмотря на плюсы, у VEK M1H есть и недостатки:

- Например, чувствительность имеет только 4 ступени в диапазоне (0.01%, 0.04%, 0.16%, 0.64%), соответственно приходится вместо необходимой чувствительности, например, 0.02%, выбирать либо недостаточную 0.01%, либо избыточную 0.04%. Такой недостаток влияет на возможное появление ложных срабатываний, или на пропуск не предусмотренных пользователем транспортных средств;

- состояние петли можно отследить только по индикации светодиодов. Это является минусом, так как нет возможности снять текущие значения и распознать неисправность петли или контроллера;

- настройки выполняются только DIP-переключателями. Для изменения параметров или обновления прошивки контроллера, требуется физическое присутствие на объекте, а если таких устройств много, то это займет не один час.

Теперь рассмотрим контроллер DoorHan Loop-1. Он также представляет собой одноканальный индукционный детектор, предназначенный для использования в системах автоматизации шлагбаумов, ворот и парковочных комплексов. Устройство относится к решениям базового уровня и ориентировано на эксплуатацию в стандартных условиях, не требующих высокой точности детектирования и расширенных функциональных возможностей.

Настройка параметров контроллера осуществляется аппаратным способом с использованием DIP-переключателей [1].

Основные функциональные возможности контроллера включают:

- выбор рабочей частоты генератора;
- ступенчатую регулировку чувствительности (четыре фиксированных уровня);
- включение фильтра подавления электромагнитных помех;
- настройку режима работы выходного реле;
- задание режима таймера присутствия (непрерывное детектирование или фиксированная задержка длительностью 10 минут).

При подаче питания осуществляется автоматическая калибровка длительностью около 1 секунды, в ходе которой контроллер адаптируется к параметрам подключенной индуктивной петли. Индикация

состояния реализована с помощью двух светодиодов: красный сигнализирует о наличии питания, зеленый – о состоянии канала и возможных ошибках.

Однако же, несмотря на простоту и удобство применения, конструктивные особенности контроллера обуславливают ряд ограничений, влияющих на надежность его функционирования в сложных условиях эксплуатации. В частности, отсутствует возможность динамической подстройки частоты: калибровка выполняется только при включении питания, что исключает компенсацию изменений параметров контура, вызванных температурными и влажностными колебаниями или старением материалов. Это может приводить к снижению точности детектирования и возникновению ложных срабатываний.

Во-вторых, регулировка чувствительности носит дискретный характер, что затрудняет точную настройку порога срабатывания, особенно при обнаружении объектов с малой металлической массой (например, мотоциклов). И также, как и в ВЕК МІН. диагностика возможна исключительно по светодиодной индикации, что не позволяет точно определить характер неисправностей (обрыв, короткое замыкание) без применения дополнительных измерительных средств.

А во время калибровки чувствительность к внешним воздействиям повышается. Таким образом, наличие транспортного средства в зоне петли или сильные электромагнитные помехи в момент включения питания могут быть зафиксированы как базовое состояние, что приводит к некорректной работе устройства.

Стоит учесть, что не предусмотрены цифровые интерфейсы, в связи с чем исключается возможность удаленного мониторинга или настройки в системы управления, а изменение алгоритмов работы и обновление прошивки вовсе не поддерживаются.

3. Разработка собственного решения

На основе проведенного анализа сформулируем требования к разрабатываемому контроллеру:

- частотный принцип детектирования с измерением относительного изменения частоты $\Delta f/f$;
- автоматическая подстройка частоты для компенсации дрейфа;
- блокировка калибровки, если петля занята;
- BLE-интерфейс для удаленной настройки и диагностики контроллера;
- отображение графиков частоты, статуса петли в реальном времени.

На рисунке 1 представлена структурная схема разработанного контроллера. От петли на микроконтроллер через трансформатор поступает

сигнал, он управляет генератором возбуждения, образуя алгоритм автоматической подстройки частоты, а также этот сигнал взаимодействует с BLE-модулем и формирует сигналы на реле и светодиоды.

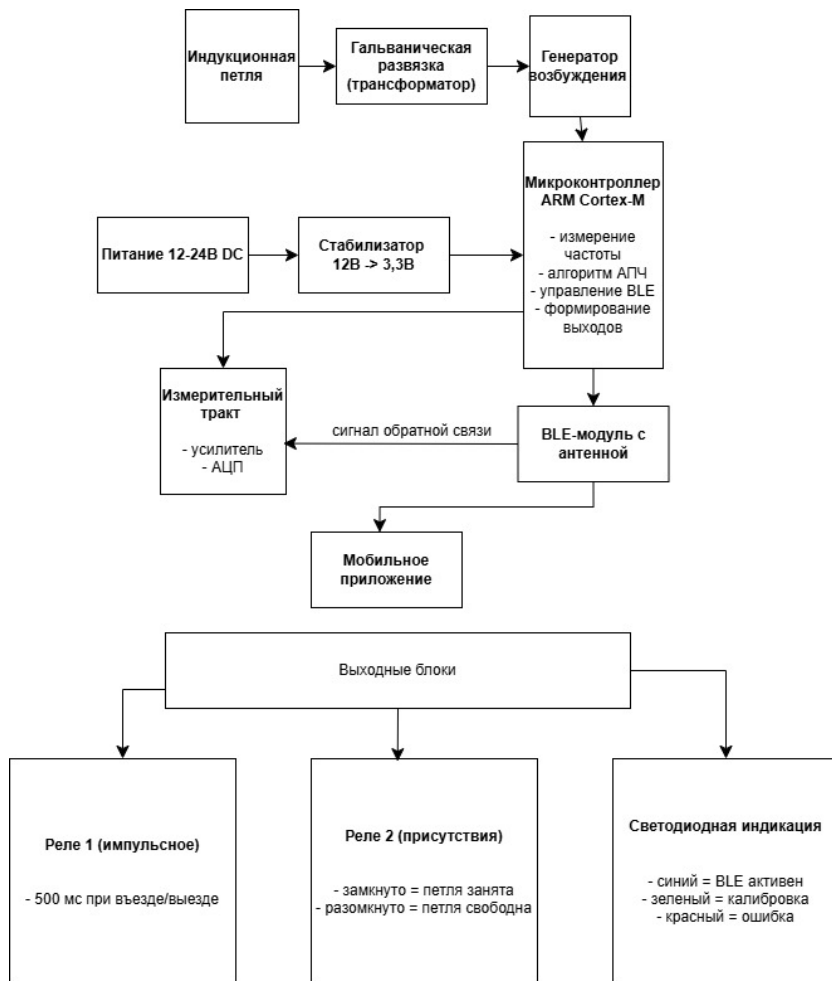


Рисунок 1. Структурная схема разработанного контроллера индукционных петель

4. Моделирование и схемотехническая реализация

Разработка началась с построения электрической модели измерительного тракта в программе Multisim. После успешной проверки модели была создана принципиальная схема в Altium Designer.

На рисунке 2 представлен фрагмент собранной модели, имитирующий работу преобразования сигнала с индукционной петли в цифровые импульсы для микроконтроллера [7].

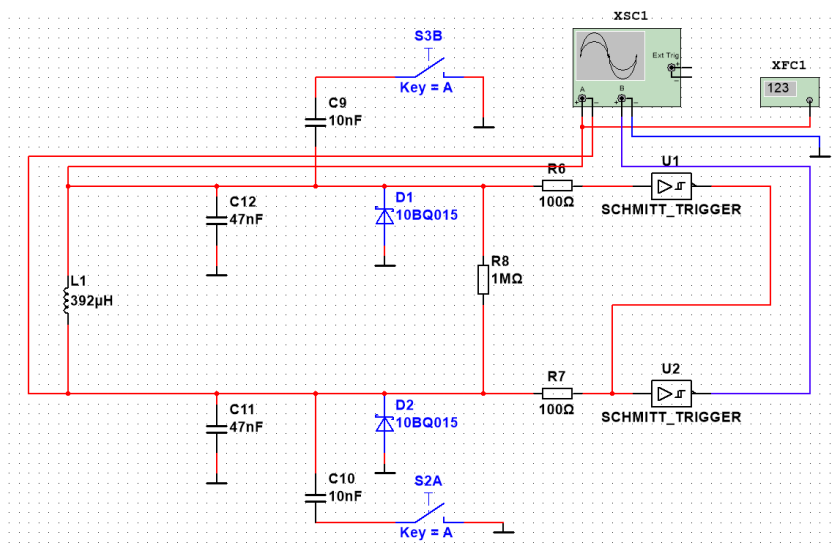


Рисунок 2. Модель измерительного тракта

Сигнал с петли (L1) проходит через фильтры на конденсаторах C9, C10, C11, C12. Эти конденсаторы подавляют высокочастотные помехи и сглаживают форму сигнала. Диоды D1 и D2 ограничивают амплитуду, не допуская превышений. Резисторы R6 и R7 ограничивают ток, а резистор R8 образует нагрузку, стабилизируя работу.

Дальше сигнал поступает на входы триггеров U1 и U2, они называются триггерами Шмитта. Встроенный в них гистерезис, то есть разница между верхним и нижним порогом срабатывания, позволяет не реагировать на мелкие шумы, формируя прямоугольные импульсы на выходе. Частота этих импульсов равна частоте колебаний в петле, и они доходят до микроконтроллера, чтобы измерить частоту [6].

В моделировании Multisim воспроизведены реальные условия эксплуатации. При изменении частоты колебаний петли в диапазоне 25–130 кГц (рабочий диапазон контроллера) на выходах триггеров U1 и U2 формировался устойчивый прямоугольный сигнал (меандр) без сбоев и искажений (рисунок 3).

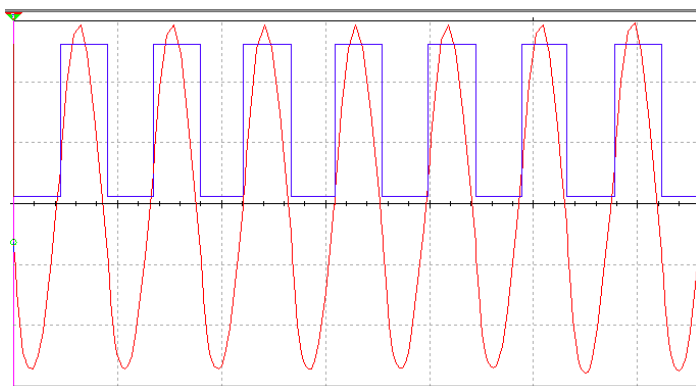


Рисунок 3. Прямоугольный сигнал на выходе триггера

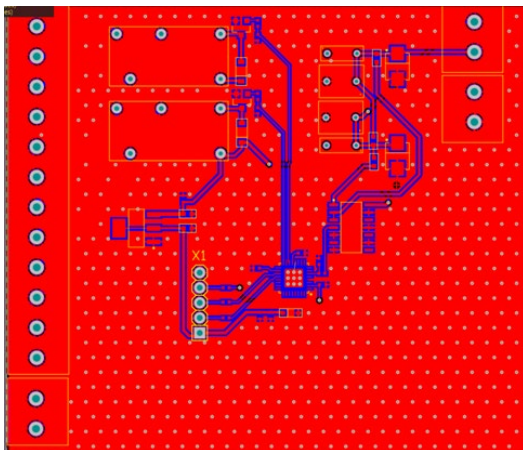
После проверки модели в Multisim, схема была перенесена в программу Altium Designer.

Схема устройства включает несколько функциональных узлов: входной измерительный тракт, автогенератор на основе логических элементов, микроконтроллер с поддержкой беспроводной связи, а также узлы питания и индикации (рисунок 4, а).

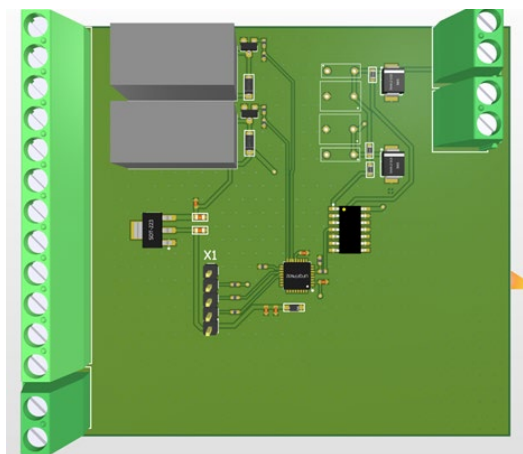
Входной каскад реализован с использованием защитных элементов, включая TVS-диоды, предназначенные для защиты от импульсных перенапряжений. Также применены фильтрующие RC-цепи, обеспечивающие подавление высокочастотных помех, поступающих с индуктивной петли. Сигнал с петли поступает на автогенератор, что обеспечивает формирование устойчивых колебаний и повышение помехоустойчивости за счет триггера Шмитта.

Цифровая обработка сигнала осуществляется с использованием микроконтроллера, который обеспечивает обработку входных данных, формирование управляющих сигналов и передачу информации по беспроводному интерфейсу. Для обеспечения стабильной работы микроконтроллера предусмотрены кварцевые резонаторы, а также цепи развязки питания [2].

Компоновка элементов выполнена с учётом функционального разделения устройства. Аналоговая часть (измерительный тракт и автогенератор) размещена в отдельной зоне, удалённой от цифровых узлов (микроконтроллера и BLE-модуля), что позволило снизить уровень взаимных помех и повысить точность измерений (рисунок 4, б).



а) 2-D режим



б) 3-D режим

Рисунок 4. Модели платы, выполненные в среде Altium Designer

5. Разработка мобильного приложения

Важной особенностью данного контроллера является наличие встроенного Bluetooth интерфейса, обеспечивающего беспроводное взаимодействие с мобильным приложением. Такая функция дает возможность проверять состояние оборудования, осуществлять настройку удаленно [5].

После установления соединения телефона с контроллером в приложении отображается состояние подключенного устройства:

- статус петли (занята / свободна/ калибровка);
- значение относительного изменения частоты $\Delta f / f$;
- график изменения частоты в реальном времени.

И главным преимуществом приложения является возможность изменять параметры контроллера, не имея доступ к DIP-переключателям:

- регулировка чувствительности в процентах от порогового значения;
- режим работы реле;
- изменение времени рекалибровки.

В качестве языка программирования был выбран C++, благодаря объектно-ориентированному подходу, низкоуровневому доступу к железу и одновременно написанию сложных алгоритмов. На рисунке 5 представлено реализованное приложение:

Разработанный контроллер исключает недостатки и имеет алгоритм автоматической подстройки частоты, блокировку возможности калибровки при занятой петле, а также BLE-интерфейс для беспроводной диагностики и настройки.

Список литературы:

1. Индуктивный контурный детектор LOOP-1: руководство по монтажу и эксплуатации / DoorHan. – Одинцово, 2018. – 4 с. – URL: <https://doorhan.ru/upload/iblock/fbf/fbfbeea6c14df998c393ce31360ef38c.pdf> (дата обращения: 12.02.2026).
2. Каратаева, Н. А. Радиотехнические цепи и сигналы. Дискретная обработка сигналов и цифровая фильтрация: учебное пособие / Н. А. Каратаева; Федеральное агентство по образованию, Томский гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. – Томск: ТУСУР, 2007. – 262 с. – ISBN 978-5-86889-454-1. – EDN QMSWZL.
3. Klein, L. A. Traffic Detector Handbook / L. A. Klein, M. K. Mills, D.R.P.Gibson. – Washington: FHWA, 2006. – URL: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/02.cfm> (дата обращения: 20.02.2026).
4. Кожевников, Н. О. Электромагнитные поля и волны / Н. О. Кожевников. – 2009. – URL: http://geoelectriclab.com/storage/app/media/KozhevnikovPublication/gg-2009-50-3-300_Rus.pdf (дата обращения: 22.02.2026).
5. Кратько, А. Обзор компонентов Bluetooth / А. Кратько, Р. Александров // Компоненты и технологии. – 2005. – № 9. – С. 140–150. – URL: <https://kit-e.ru/wp-content/uploads/21140.pdf> (дата обращения: 22.02.2026).
6. Лаврентьев, Б. Ф. Триггеры Шмитта и их применение / Б. Ф. Лаврентьев // Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». – Москва, 2020. – URL: <https://openrepository.mephi.ru/server/api/core/bitstreams/210ff53e-cde0-4238-b3f1-eb99c4f1c569/content> (дата обращения: 23.02.2026).
7. Миронов, В. И. Моделирование электронных схем в Multisim / В.И.Миронов. – 2019. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42468077> (дата обращения: 23.02.2026).
8. Физические основы получения информации: методические указания к практическим работам / Нижегородский государственный технический университет им. П. Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2018. – URL: https://api.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/obr_prog/120301/umm/31_Физические%20основы%20получения%20информации/МУ%20к%20практическим%20работам_1.pdf (дата обращения: 23.02.2026).
9. VEK M1H: operation instruction: [for 1-channel induction loop detector] / FEIG ELECTRONIC GmbH. – Weilburg, 2005. – 4 p. – URL: https://vehicle-accesscontrol.com/content/Feig%20Electronics%20VEK-M1H_MID1E-800%20Manual.pdf (дата обращения: 03.03.2026).

МЕТОДИКА АПРИОРНОЙ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ АПРОБАЦИИ

Куслин Сергей Сергеевич

соискатель, начальник отдела

Центра прогнозирования ФГУП «ВНИИ «Центр»»,

РФ, г. Москва

METHODOLOGY FOR A PRIORI ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL FORECASTS AND THE RESULTS OF ITS TESTING

Kuslin Sergey Sergeevich

Applicant, Head of Department,

Forecasting Center FSUE "VNI "Center",

Russia, Moscow

Аннотация. В статье рассмотрен методический подход к априорной оценке достоверности научно-технологических прогнозов. Проведен анализ существующих подходов к оценке достоверности результатов научно-технологического прогнозирования и предложена методика ее расчета, а также приведен пример апробации разработанной методики.

Abstract. This article examines a methodological approach to a priori assessment of the reliability of scientific and technological forecasts. It analyzes existing approaches to assessing the reliability of scientific and technological forecasting results, proposes a calculation method, and provides an example of testing the developed method.

Ключевые слова: качество прогноза, верификация, показатель качества, достоверность.

Keywords: forecast quality, verification, quality indicator, reliability.

В условиях ускорения научно-технического прогресса и возрастающей сложности прогнозируемых систем проблема оценки достоверности научно-технологических прогнозов приобретает особую значимость. Результаты прогнозных исследований служат основой для

принятия стратегических решений на государственном, отраслевом и корпоративном уровнях, однако существующие подходы к оценке их достоверности зачастую фрагментарны и не объективны.

В данной работе предложена методика априорной оценки достоверности научно-технологических прогнозов, базирующаяся на интервальном подходе и эмпирической частоте попаданий прогнозных значений в заданный доверительный интервал. В работе предлагается формализованный аппарат расчета вероятности реализации доверительного интервала, учитывающий как статистические характеристики ретроспективных данных, так и требования к точности прогнозирования. Предложенная методика позволяет преодолеть ограничения существующих подходов и может быть использована для отбора наиболее обоснованных прогнозных сценариев при формировании приоритетов научно-технической политики.

Анализ основных методических подходов к оценке достоверности научно-технологических прогнозов

Если результат научно-технологического прогнозирования рассматривать как информацию о состоянии объекта прогнозирования в будущем, то авторами работы [1] утверждается, что достоверность данной информации может быть охарактеризована величиной, изменяющейся обратно пропорционально вероятности возникновения ошибки. При таком утверждении методический подход к оценке достоверности научно-технологических прогнозов заключается в расчете данной величины:

$$P = \frac{1}{\beta(e)} \quad (1)$$

где P – достоверность научно-технологического прогноза;

$$\beta(e) = \frac{N - m}{N} \quad \text{– вероятность возникновения ошибки, вычисляемая на основе ретроспективных данных как доля прогнозов, не соответствующих фактическим значениям, где } N \text{ – общее количество прогнозов;}$$

m – количество точных совпадений прогнозного и фактического значения исследуемой переменной.

Данный методический подход имеет существенный недостаток, заключающийся в математической некорректности использования критерия точного совпадения для непрерывных случайных величин.

Поскольку вероятность точного равенства $p(\hat{y} = y)$ стремится нулю, то и эмпирическая частота совпадений m при увеличении объема выборки N стремится к нулю, а расчетное значение достоверности (P) – к единице. Таким образом, величина, изменяющаяся обратно пропорционально вероятности возникновения ошибки в данном случае, перестает отражать реальную достоверность научно-технологических прогнозов.

В работах [2, 3] под термином «достоверность прогноза» понимается оценка вероятности осуществления прогноза для заданного доверительного интервала. Графическая интерпретация данного понятия достоверности представлена на рисунке 1, где вероятность попадания значения ЗПП в $[-\infty, +\infty]$ характеризуется площадью фигуры A , ограниченной функцией нормального распределения и осью абсцисс, и равна единице. Геометрически, вероятность попадания значения ЗПП в интервал a (b) равна площади фигуры под графиком функции нормального распределения, опирающейся на участок равной ширине интервала a (b). Для наглядной визуализации ширина интервала a (b) выбрана таким образом, чтобы она совпадала со значениями $[-2\sigma; 2\sigma]$ ($[-1\sigma; 1\sigma]$) на оси абсцисс, эмпирического правила трех сигм.

Площади фигур на рисунке 1 отражают:

- фигуры B – вероятность прогноза для доверительного интервала a (0,954);
- фигуры C – вероятность прогноза для доверительного интервала b (0,680).

Методический подход к оценке достоверности научно-технологических прогнозов в данном случае заключается в вычислении вероятности:

$$P(\hat{y}_t \in [\hat{y}_t - \delta; \hat{y}_t + \delta]) = 1 - \alpha \quad (2)$$

где \hat{y}_t – значение точечного прогноза в момент времени t ;

$[\hat{y}_t - \delta; \hat{y}_t + \delta]$ – доверительный интервал прогноза;

$1 - \alpha$ – доверительная вероятность (или уровень достоверности), где α – уровень значимости.

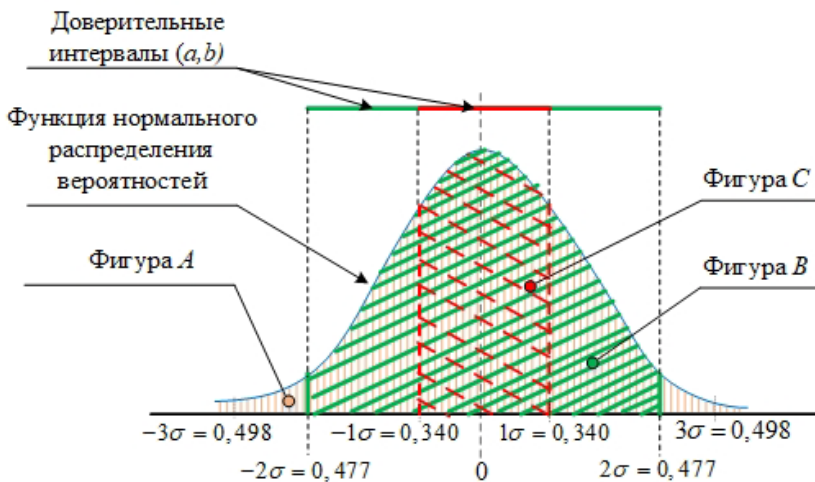


Рисунок 1. Графическая интерпретация достоверности научно-технологических прогнозов

Методический подход расчета вероятности реализации доверительного интервала на основании t -критерия Стьюдента, который применяется когда объем выборки невелик (при $n < 30$), детально представлен в работе [4], где данный подход разобран на наглядном практическом примере, иллюстрирующем последовательность вычислений и интерпретацию полученных результатов.

Ключевой недостаток методического подхода, предложенного в работе [4], заключается в математической некорректности используемого аппарата оценки достоверности прогноза применительно к задачам с высокой дискретностью исходных данных.

В частности, при расчете вероятности реализации доверительного интервала, характеризующей достоверность прогноза, стандартная ошибка оценки значащей переменной прогнозирования (ЗПП) вычисляется по формуле (3):

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}} \quad (3)$$

где

S_e – стандартная ошибка оценки ЗПП;

y_i – фактическое i -е значение ЗПП;

\hat{y}_i – прогнозное i -е значение ЗПП;

n – количество наблюдений.

Структура данной формулы такова, что знаменатель подкоренного выражения содержит величину $n - 2$, что накладывает жесткое и не всегда выполнимое условие на репрезентативность выборки: расчет стандартной ошибки S_e становится принципиально возможным только при наличии трех и более фактических значений ЗПП ($n \geq 3$). При $n = 2$ знаменатель обращается в ноль, что делает операцию деления невозможной и приводит к вычислительной ошибке. В случае же, когда $n = 1$ подкоренное выражение становится отрицательным, что делает вычисление стандартной ошибки принципиально невыполнимым.

Данное ограничение вступает в прямое противоречие с природой долгосрочных научно-технологических прогнозов, период упреждения которых составляет два года и более. Для таких прогнозов характерен дефицит ретроспективных количественных данных: экспертные оценки даются на редкие временные точки (например, раз в несколько лет), а количество предшествующих фактических значений ЗПП, как правило, минимально. Это делает невозможным корректное вычисление стандартной ошибки по формуле (3) и, следовательно, ставит под сомнение эффективность данного подхода.

Ситуация, иллюстрирующая данную проблему, представлена в таблице 1 на примере условных прогнозных оценок, где число доступных фактических значений заведомо недостаточно для применения формулы (3). Таким образом, метод, представленный в работе [4] не может быть применен для количественной оценки достоверности прогнозов с длительным периодом упреждения, так как его вычислительная база требует статистически полной выборки, недоступной в условиях редких экспертных оценок.

Таблица 1.

Пример научно-технологического прогноза, к которому неприменим подход, предложенный в работе [1]

ЗПП	Период упреждения (k)			
	2026 (год разработки прогноза)	2031	2036	2041
Дальность полета БПЛА	500	1000	1500	2000

Применение данного подхода к примеру, представленному в таблице 1 требует накопления минимум трех фактических значений ЗПП (за 2026, 2031 и 2036 годы), что делает возможной оценку достоверности прогноза лишь к 2037 году. Столь значительная временная задержка нивелирует практическую ценность результатов для лица, принимающего решения в 2026 году – в момент разработки прогноза.

В целях обеспечения применения применения методического подхода, представленного в работе [4] для оценки достоверности долгосрочных научно-технологических прогнозов, предлагается расчет S_e выполнять не основываясь на фактических значениях ЗПП, а относительно эталонной функции, выбор которой производить из шести основных конкурирующих моделей (линейная, полиномиальная второй степени, экспоненциальная, степенная, логарифмическая и логистическая), построение каждой из которых осуществлять методом наименьших квадратов, причем эталонную функцию определять таким образом, чтобы сумма квадратов ошибок (SSE) была минимальной:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i^{\text{э}})^2}{n - 2}}, \min_{m=1}^m SSE_{\text{э}} \quad (4)$$

где $y_i^{\text{э}}$ – i -е значение исследуемой переменной, полученное в результате применения эталонной функции;

$$SSE_{\text{э}} = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i^{\text{э}})^2$$
 – сумма квадратов ошибок эталонной

функции;

m – количество основных моделей, из которых выбирается эталонная функция.

Для демонстрации работоспособности предложенного доработанного методического подхода рассмотрим алгоритм оценки достоверности научно-технологических прогнозов на условном примере, в котором объектом прогнозирования уровня отдельного результата развития техники является система связи пятого поколения (5G), значащей переменной прогнозирования служит максимальная скорость передачи данных (Гбит/с), горизонт прогнозирования составляет 10 лет с периодами упреждения в 2 года.

Допустим, что для рассматриваемого примера на основе ретроспективных данных и с применением некоторого метода прогнозирования получены результаты, приведенные в таблице 2.

Необходимо оценить достоверность попадания прогнозного значения ЗПП в доверительный интервал [149, 177] на период упреждения 10 лет.

Таблица 2.

Исходные данные для оценки достоверности прогноза

Исходные данные	Период упреждения (k)				
	1 (2 года)	2 (4 года)	3 (6 лет)	4 (8 лет)	5 (10 лет)
Год	2028	2030	2032	2034	2036
Прогнозное значение ЗПП (\hat{y}_i), Гбит/с	5	12	28	65	163

Алгоритм решения

Шаг 1. На основании исходных данных, представленных в таблице 2, путем применения метода наименьших квадратов были получены уравнения шести конкурирующих моделей и для каждой вычислена сумма квадратов ошибок (SSE). Результаты сведены в таблицу 3.

Таблица 3.

Результаты расчета основных конкурирующих функций

№ п/п	Модель	Уравнение	SSE
1	Линейная	$y = -56,1 + 36,9k$	3225,10
2	Полином 2-й степени	$y = 45,4 - 50,1k + 14,5k^2$	281,60
3	Экспоненциальная	$y = 2,099e^{0,8658k}$	18,12
4	Степенная	$y = 3,797k^{2,094}$	2892,00
5	Логарифмическая	$y = -22,53 + 80,55 \ln k$	6366,00
6	Логистическая	$y = \frac{200}{1 + 179e^{-1,23k}}$	879,00

Сравнив результаты расчета SSE в качестве эталонной функции выбрана экспоненциальная, чья SSE является минимальной и составляет 18,12. Результаты расчета значений исследуемой переменной, полученные при применении эталонной функции сведены в таблицу 4.

Таблица 4.

**Результаты расчета значений исследуемой переменной,
полученные при применении эталонной функции**

Результаты расчета	Период упреждения (<i>k</i>)				
	1 (2 года)	2 (4 года)	3 (6 лет)	4 (8 лет)	5 (10 лет)
Год	2028	2030	2032	2034	2036
$y_i^{\text{э}}$, Гбит/с	4,99	11,86	28,19	67,00	159,25

Наглядная визуализация результатов построения графиков основных конкурирующих функций представлена на рисунке 2.

Шаг 2. Применяя формулу 5 определим стандартную ошибку оценки ЗПП:

$$S_e = 2,46$$

Шаг 3. t_{α} – критерий Стьюдента для ЗПП определяется в соответствии с выражением [5]:

$$t_{\alpha} = \frac{\Delta \hat{y}}{2 \times S_e \times \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{3 \times (n + 2k - 1)^2}{n \times (n^2 - 1)}}} \quad (6)$$

где $\Delta \hat{y}$ – ширина доверительного интервала.

Для рассматриваемого примера:

$$\Delta \hat{y} = 177 - 149 = 28;$$

$$t_{\alpha} = 2,3.$$

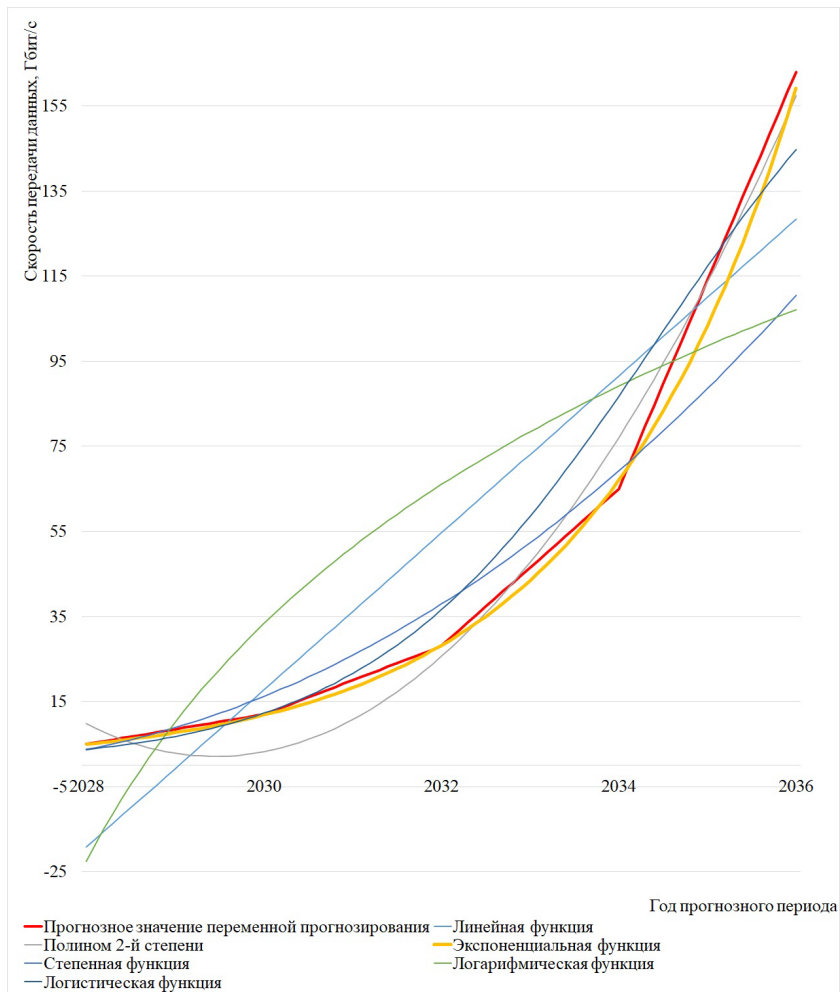


Рисунок 2. Наглядная визуализация результатов построения графиков основных конкурирующих функций

Шаг 4. По данным таблицы 5 определяется вероятность осуществления прогноза.

Таблица 5.

Критерии Стьюдента

Число степеней свободы $df = n - 2 = 3$	Вероятность осуществления прогноза			
	0,90	0,95	0,98	0,99
1	6,3	...	31,8	63,7
2
3	2,3	...	4,5	5,8
4	2,1	...	3,6	4,6

Достоверность прогноза, при которой максимальная скорость передачи данных системы связи пятого поколения попадет в интервал [149, 177] Гбит/с на периоде упреждения 10 лет составляет 0,90.

Шаг 5. Вербальное описание достоверности научно-технологических прогнозов производится в соответствии с вербально-числовой шкалой (таблица 6).

Таблица 6.

Вербально-числовая шкала оценки достоверности научно-технологических прогнозов и показателей их качества

№ п/п	Числовые значения	Вербальная оценка уровней достоверности
1	0,81-1,0	Высокий уровень
2	0,60-0,80	Уровень выше среднего
3	0,31-0,60	Средний уровень
4	0,21-0,30	Уровень ниже среднего
5	0,20 и менее	Низкий уровень

Из таблицы 6 видно, что достоверность научно-технологического прогноза равная 0,90 соответствует высокому уровню.

Заключение

Разработанная в рамках настоящего исследования методика априорной оценки достоверности научно-технологических прогнозов позволяет преодолеть ключевой недостаток методического подхода,

предложенного в работе [4], заключающийся в математической некорректности используемого аппарата оценки достоверности прогноза применительно к задачам с высокой дискретностью исходных данных.

Кроме того, полученные в ходе разработки теоретические и практические результаты закладывают основу для дальнейшего совершенствования системы стратегического планирования. Предложенная методика в перспективе станет базовой и неотъемлемой частью доработанного метода оценки качества научно-технологических прогнозов, предложенного авторами работы [4]. Интеграция данной методики в общий контур управления позволит перейти от эпизодической проверки качества научно-технологических прогнозов к системному мониторингу, что обеспечит требуемый уровень стратегического планирования.

Список литературы:

1. Саркисян С.А., Ахундов В.М., Минаев Э.С. Анализ и прогноз развития больших технических систем. М.: Наука, 1982. – 280 с.
2. Рабочая книга по прогнозированию/Редкол.: И.В. Бестужев-Лада (отв. ред.). – М.: Мысль, 1982. – 430 с.
3. Прогностика. Терминология, вып. 92. М., «Наука», 1978. С. 13.
4. Афанасьев А.Л., Куслин С.С. Метод оценки качества научно-технологических прогнозов // В сб. VII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов организаций – ассоциированных членов Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Молодежь. Наука. Инновации в оборонно-промышленном комплексе. М.: ФГБУ РАРАН, ФГУП «ВНИИ «Центр» – 2023 – С. 142-149.
5. Теория прогнозирования и принятия решений. Учеб. пособие. Под ред. С.А. Саркисяна. – М.: Высшая школа, 1977. – 350 с.

SCANGUARD: ГИБРИДНАЯ ВЕБ-СИСТЕМА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДОНОСНЫХ ФАЙЛОВ

Өтеулі Олжас Мейрханұлы

*студент 4 курса бакалавриата,
образовательная программа
Сетевая безопасность,
Международный университет
информационных технологий (МУИТ),
Казахстан, г. Алматы*

Мурат Диас Асхатулы

*студент 4 курса бакалавриата,
образовательная программа
Сетевая безопасность,
Международный университет
информационных технологий (МУИТ),
Казахстан, г. Алматы*

Айбаров Аят Айбарұлы

*студент 4 курса бакалавриата,
образовательная программа
Сетевая безопасность,
Международный университет
информационных технологий (МУИТ),
Казахстан, г. Алматы*

Пягай Виктор Тимофеевич

*научный руководитель,
магистр, сениор-лектор,
Международный университет
информационных технологий (МУИТ),
Казахстан, г. Алматы*

Аннотация. В статье представлена ScanGuard – веб-система для обнаружения потенциально вредоносных файлов. Система сочетает облегченную универсальную модель на основе интерпретируемых статических признаков, PE-специфичную модель EMBER и опциональный режим Deep Scan, который добавляет результаты VirusTotal. В работе описаны архитектура системы, конвейер сканирования, хранение истории сканов и формирование отчета. Lite-модель оценивалась

на пользовательском датасете с независимой holdout-выборкой, а PE-путь – на публичном наборе признаков EMBER 2018 v2. Полученные результаты показывают, что предложенная архитектура обеспечивает быстрый локальный скрининг и более сильную классификацию PE-образцов.

Ключевые слова: обнаружение вредоносного ПО, статический анализ, машинное обучение, EMBER, VirusTotal, веб-сервис, сканирование файлов.

Введение

Доставка вредоносного ПО уже не ограничивается классическими исполняемыми файлами. Опасное содержимое попадает к пользователям через скрипты, документы, архивы, дропперы и упакованные бинарные файлы. Сигнатурные антивирусные средства по-прежнему необходимы, однако их возможности ограничены при работе с ранее неизвестными образцами и в небольших пользовательских сценариях [1, 2]. Поэтому методы машинного обучения сохраняют актуальность для статического и динамического анализа вредоносного ПО [3, 4].

Во многих исследованиях основное внимание уделяется Windows PE-файлам, поскольку этот формат содержит богатую структурную информацию и для него существуют публичные benchmark-наборы данных. Это удобно для сравнения моделей, но не решает практическую задачу небольшого веб-сканера, куда пользователи загружают файлы разных типов. Сервис, предназначенный для предварительной проверки, должен работать с текстовыми файлами, скриптами, архивами и PE-образцами в одном интерфейсе, сохраняя при этом возможность использовать более сильную специализированную модель для исполняемых файлов.

Целью работы было разработать и оценить веб-сервис, который объединяет универсальную межформатную модель и специализированную PE-ориентированную модель. Созданная система ScanGuard поддерживает режим Quick Scan для локального анализа и режим Deep Scan, который дополняет результаты внешним отчетом VirusTotal [7]. Кроме того, система сохраняет историю сканирований, формирует человекочитаемую сводку и экспортирует PDF-отчет.

Материалы и методы

ScanGuard включает статический фронтенд, backend на Node.js/Express, отдельный сервис машинного обучения на FastAPI

и базу данных PostgreSQL. После загрузки файла backend создает идентификатор сканирования, сохраняет исходные метаданные, вычисляет хэш SHA-256 и передает файл в ML-сервис. Возвращенные классификация, вероятность, порог, риск-оценка и список причин объединяются в объект отчета. В режиме Deep Scan backend дополнительно запрашивает данные VirusTotal и добавляет их в итоговый отчет. Архитектура системы и сценарий сканирования показаны на рис. 1 и рис. 2.

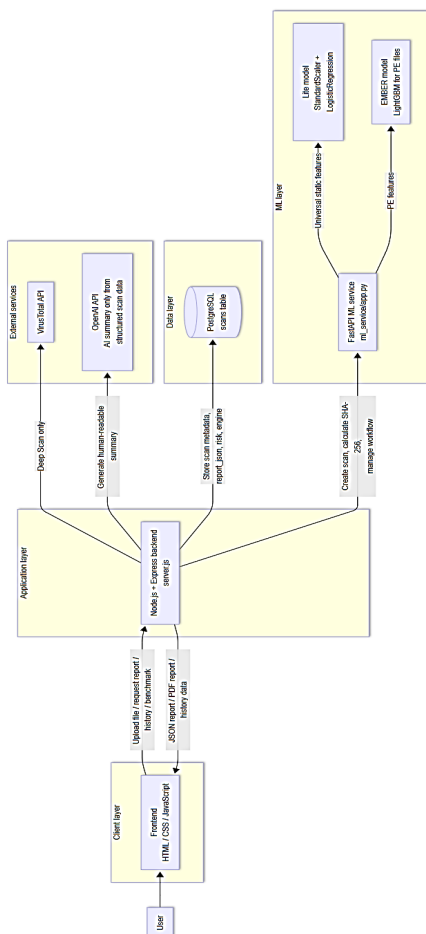


Рисунок 1. Общая архитектура системы ScanGuard

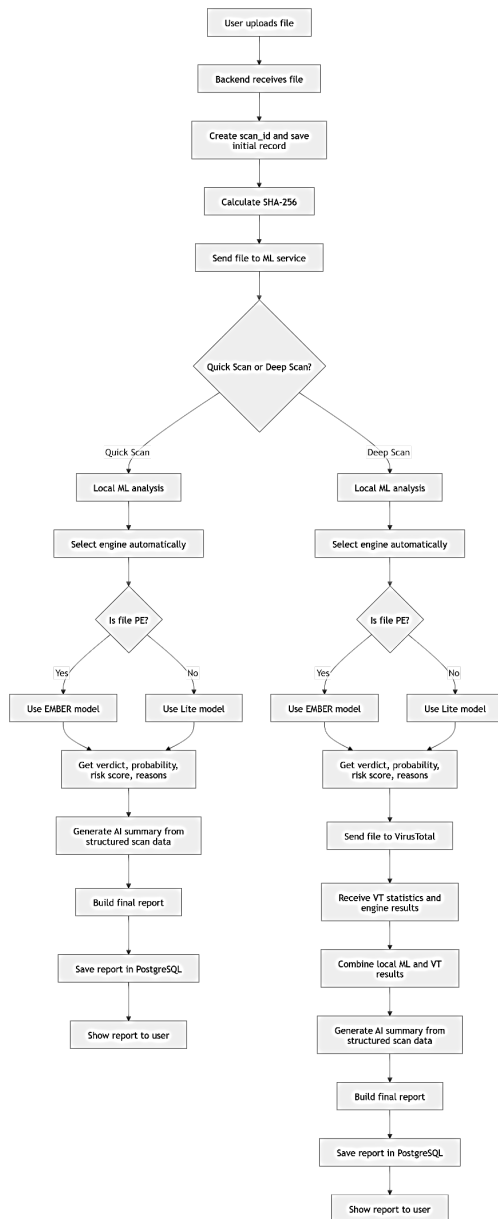


Рисунок 2. Рабочие процессы Quick Scan и Deep Scan

Lite-модель была разработана как универсальный модуль предварительной проверки для разнородных файлов. Она вычисляет компактный набор интерпретируемых статических признаков по сырым байтам и декодированному превью: размер файла, энтропию Шеннона, долю печатных символов, количество URL, наличие EICAR-строки, командных ключевых слов, признаков макросов и длинных base64-подобных фрагментов. Эти индикаторы выбраны потому, что их можно быстро извлечь для любого файла и показать пользователю в отчете. Набор признаков приведен в табл. 1.

Lite-классификатор реализован как конвейер scikit-learn, включающий StandardScaler и LogisticRegression с параметром class_weight="balanced". Обучающая выборка хранится в data/, а data_holdout/ используется только для финальной оценки. Обучающая выборка Lite содержит 688 файлов, включая 353 безопасных и 335 вредоносных образцов. Holdout-набор содержит 132 файла, включая 75 безопасных и 57 вредоносных образцов. Датасет включает реальные безопасные файлы и синтетически расширенные безопасные и malicious-like образцы.

Для Windows PE-файлов ScanGuard может переключаться на специализированную модель, обученную на EMBER 2018 v2 – публичном benchmark-датасете для статического обнаружения вредоносных PE-файлов [5]. В проекте используется классификатор LightGBM [6], обученный на представлении признаков Parquet. Сохраненные метрики указывают на 2 381 числовой признак, максимум 200 000 обучающих образцов и 50 000 тестовых образцов в локальной конфигурации эксперимента. Определение PE-файла основано на сигнатуре MZ и типичных исполняемых расширениях.

Таблица 1.

Статические признаки, используемые в Lite-модели

Признак	Описание	Причина использования
size_bytes	Размер файла	Позволяет различать небольшие дропперы, документы, архивы и более крупные упакованные объекты.
entropy	Энтропия Шеннона	Высокая энтропия может указывать на упаковку, шифрование или обфускацию.

Признак	Описание	Причина использования
printable_ratio	Доля печатных ASCII-символов	Помогает различать бинарное, текстовое и скриптовое содержимое.
url_count	Количество URL HTTP/HTTPS	Подозрительные ссылки часто встречаются в фишинговых приманках и скриптах.
has_eicar	Строка EICAR	Фиксирует стандартный антивирусный тестовый образец.
has_cmd_keywords	powershell, cmd.exe, wscript, cscript, mshta	Выявляет паттерны командного выполнения и запуска скриптов.
has_macro_keywords	macro, vba, autoopen, document open	Выявляет индикаторы автоматизации документов.
has_base64_like	Длинный base64-подобный фрагмент	Помечает возможную закодированную нагрузку или встроенные команды.

Система возвращает не только бинарную метку. ML-сервис выдает имя движка, PE-флаг, вероятность, порог, риск-оценку от 0 до 100, извлеченные признаки и список причин. Vaskend дополняет эти данные метаданными файла, SHA-256, режимом сканирования, при наличии статистикой VirusTotal и краткой AI-сводкой на русском языке. Сырые данные файла в API языковой модели не отправляются. Процесс формирования отчета и сохранения результатов показан на рис. 3.

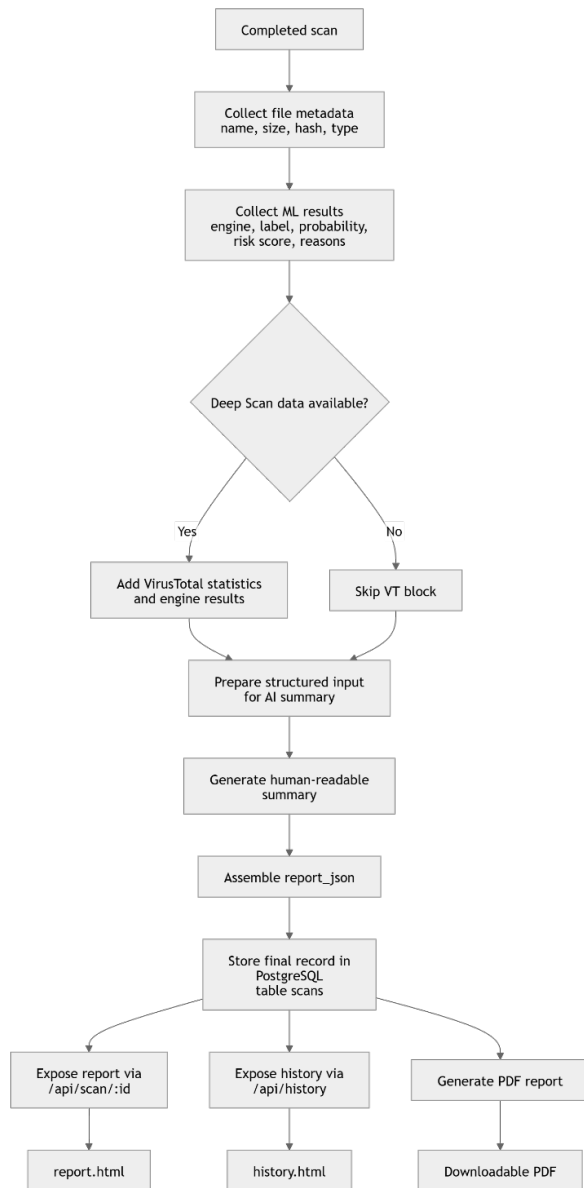


Рисунок 3. Процесс формирования отчета и сохранения истории сканирований

Результаты

С инженерной точки зрения проект достиг уровня работающего веб-сервиса, а не изолированного модельного эксперимента. Главная страница принимает загрузки и запускает сканирование. Страница отчета показывает итоговый вердикт, вероятность, risk score, причины, AI-сводку и, для Deep Scan, статистику VirusTotal. Страница benchmark считывает экспортированные JSON-метрики Lite- и EMBER-моделей. Страница history отображает сохраненные сканирования с фильтрами по режиму и движку, а также с поиском по имени файла и SHA-256.

Для Lite-модели значение ROC-AUC на holdout-наборе составляет 0.9764. При пороге 0.20 accuracy равна 0.9091, precision – 0.8358, recall – 0.9825, F1 – 0.9032. При пороге 0.50 accuracy равна 0.8864, precision – 0.9565, recall – 0.7719, F1 – 0.8544. Лучшее значение F1 на holdout-наборе в экспортированном threshold sweep составляет 0.9655 при пороге 0.25. Более низкий порог лучше подходит для скрининга, поскольку почти не пропускает вредоносные образцы в holdout-наборе, но увеличивает число ложноположительных срабатываний (табл. 2).

Таблица 2.

Основные метрики оценки моделей ScanGuard

Модель	Данные	Порог	ROC-AUC	Prec.	Recall	F1	Acc.
Lite	Holdout	0.20	0.9764	0.8358	0.9825	0.9032	0.9091
Lite	Holdout	0.50	0.9764	0.9565	0.7719	0.8544	0.8864
EMBER	Test	0.50	0.9931	0.9608	0.9664	0.9636	-

Для EMBER-пути экспортированные метрики показывают ROC-AUC 0.9931, precision 0.9608, recall 0.9664 и F1 0.9636 при пороге 0.50. Этот результат сильнее, чем оценка Lite-модели, что ожидаемо, поскольку EMBER работает в более узкой области, использует крупный публичный PE-датасет и более богатое представление признаков. Основные результаты оценки, доступные в текущей версии системы, приведены в табл. 2.

Обсуждение

Гибридная архитектура устраняет инженерное несоответствие между исследовательскими датасетами и пользовательскими загрузками. Один классификатор только для PE-файлов не покрывает

текстовые документы, архивы и скрипты, а небольшая универсальная модель не может соперничать с сильным PE-benchmark на исполняемых файлах. Совмещение этих подходов позволяет сервису сохранять широкий охват, не отказываясь от специализированного PE-пути.

Lite-модель полезна тем, что она дешева по вычислениям и интерпретируема. Каждый признак можно показать пользователю и связать с конкретной причиной в отчете. Это особенно важно для учебных и демонстрационных сценариев, где пользователю нужны не только итоговый балл, но и краткое объяснение.

У текущего проекта есть и понятные ограничения. Lite-датасет относительно невелик и частично опирается на синтетические безопасные и malicious-like файлы. Система использует только статический анализ и не запускает образцы в песочнице, не исследует их поведение во время выполнения. PE-путь улучшает обнаружение PE-файлов, но не распространяется на не-PE форматы. Режим Deep Scan также создает компромисс по конфиденциальности, поскольку при запросе расширения VirusTotal файл должен быть отправлен во внешний сервис.

Заключение

ScanGuard объединяет облегченную универсальную модель, PE-специфичную модель EMBER, опциональное обогащение VirusTotal, постоянное хранение истории и формирование отчетов в едином веб-процессе. Текущие результаты подтверждают, что Lite-модель подходит для быстрого предварительного скрининга, а EMBER-модель дает более сильное обнаружение PE-файлов. При этом система остается практическим прототипом, а не заменой промышленным продуктам безопасности, поскольку данные Lite-модели ограничены, а динамический анализ не реализован.

Список литературы:

1. Schultz M.G., Eskin E., Zadok E., Stolfo S.J. Data Mining Methods for Detection of New Malicious Executables // Proceedings 2001 IEEE Symposium on Security and Privacy. 2001. P. 38-49.
2. Kolter J.Z., Maloof M.A. Learning to Detect and Classify Malicious Executables in the Wild // Journal of Machine Learning Research. 2006. Vol. 7. P. 2721-2744.
3. Ucci D., Aniello L., Baldoni R. Survey of Machine Learning Techniques for Malware Analysis // Computers & Security. 2019. Vol. 81. P. 123-147. DOI: 10.1016/j.cose.2018.11.001.
4. Singh J., Singh J. A Survey on Machine Learning-Based Malware Detection in Executable Files // Journal of Systems Architecture. 2021. Vol. 112. Art. 101861. DOI: 10.1016/j.sysarc.2020.101861.

5. Anderson H.S., Roth P. EMBER: An Open Dataset for Training Static PE Malware Machine Learning Models // arXiv preprint arXiv:1804.04637. 2018.
6. Ke G., Meng Q., Finley T., Wang T., Chen W., Ma W., Ye Q., Liu T.-Y. LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree // Advances in Neural Information Processing Systems. 2017. Vol. 30. P. 3146-3154.
7. VirusTotal. API Overview [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.virustotal.com/docs/api-overview> (дата обращения: 29.03.2026).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ ОШИБОК ПРИ SERIAL-ОБМЕНЕ В ПРОЕКТАХ НА ПЛАТФОРМЕ ARDUINO

Романов Даниил Сергеевич

студент,

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,

РФ, г. Зеленоград

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE FREQUENCY OF SERIAL-EXCHANGE ERRORS IN ARDUINO PROJECTS

Romanov Daniil Sergeevich

Student,

National Research University "MIET",

Russia, Zelenograd

Аннотация. В статье рассматриваются факторы, влияющие на надёжность последовательного обмена в проектах на платформе Arduino. Представлены результаты экспериментальной оценки частоты ошибок при передаче данных в зависимости от скорости обмена, аппаратного согласования и программной обработки входящего потока. Показано, что рост скорости и нагрузки на контроллер приводит к увеличению числа искажённых сообщений, что необходимо учитывать при проектировании измерительных и управляющих систем.

Abstract. The article discusses the factors affecting the reliability of serial communication in projects based on the Arduino platform. The results of an experimental assessment of the error rate during data transmission,

depending on the exchange rate, hardware matching, and software processing of the incoming stream, are presented. It is shown that an increase in speed and load on the controller leads to an increase in the number of distorted messages, which should be taken into account when designing measurement and control systems.

Ключевые слова: Arduino, Serial-обмен, UART, частота ошибок, последовательный порт, надежность передачи данных, baud rate, микроконтроллер.

Keywords: Arduino, Serial communication, UART, error rate, serial port, data transfer reliability, baud rate, microcontroller.

Введение

Платформа Arduino широко применяется в учебных, инженерных и прикладных проектах благодаря открытой архитектуре, доступности и удобству быстрой разработки. Одним из наиболее востребованных механизмов взаимодействия в таких системах остается UART-связь, на основе которой строится Serial-обмен между микроконтроллером и внешними устройствами. Для практических задач этот канал важен своей простотой и возможностью оперативной передачи команд, результатов измерений и служебных сообщений [1].

Актуальность темы определяется тем, что при работе последовательного интерфейса корректность обмена зависит от совпадения скорости приема и передачи, правильного подключения линий RX и TX, а также от стабильности аппаратных и программных параметров канала. Даже небольшое рассогласование способно вызывать искажение данных, а при росте скорости обмена вероятность сбоев становится более заметной. По этой причине оценка частоты ошибок представляет практический интерес для проектов на платформе Arduino, особенно в тех случаях, когда передаваемые данные используются для управления устройством или регистрации результатов эксперимента [2].

С технической точки зрения последовательный обмен остается чувствительным к настройкам среды и особенностям передачи данных. В литературе подчеркивается, что при работе через UART важны одинаковая скорость на стороне передатчика и приемника, корректный формат кадра и соблюдение допустимых условий связи. Для Arduino такие требования особенно значимы, поскольку ошибка в настройке порта или в организации чтения входящего потока может привести к нарушению приема отдельных символов и целых сообщений [3].

Цель исследования состоит в оценке влияния параметров передачи данных на надёжность последовательного обмена в проектах на платформе Arduino.

Для достижения поставленной цели решаются две задачи:

- рассмотрение теоретических основ последовательного обмена и факторов, влияющих на появление ошибок;
- проведение экспериментальной проверки и анализом зависимости частоты ошибок от условий передачи данных.

Объектом исследования выступает Serial-обмен в проектах на платформе Arduino, а предметом исследования являются ошибки приёма и передачи данных, возникающие в процессе такого обмена [4].

Практическая значимость исследования усиливается тем, что в среде Arduino обмен с компьютером часто используется для вывода сообщений и для ввода управляющих данных, команд и параметров работы программы. В таких условиях даже единичные ошибки могут менять логику работы устройства, особенно если считывание осуществляется в реальном времени.

1 Теоретические основы Serial-обмена и причины возникновения ошибок проекта проектах на платформе Arduino.

Последовательный обмен в проектах на Arduino строится вокруг достаточно простой логики. Скорость передачи задается функцией `Serial.begin(speed)`, после чего плата может передавать и принимать данные через стандартный последовательный интерфейс. Именно эта простота делает Serial-обмен удобным для настройки, отладки и связи с компьютером, но одновременно создает риск недооценки технических ограничений канала. Когда разработчик воспринимает такой обмен как полностью надежный по умолчанию, вероятность ошибок начинает зависеть уже не от самой идеи интерфейса, а от точности его настройки и условий работы конкретного проекта [1].

Практика использования Arduino в измерительных задачах показывает, что последовательный канал часто становится частью самого экспериментального контура. Через него на компьютер отправляются результаты измерений, а обмен может идти в режиме виртуального COM порта. В таком случае ошибка Serial-обмена перестает быть локальной программной мелочью и начинает влиять на достоверность всего получаемого массива данных. Если при передаче искажается даже небольшая часть значений, итоговая картина процесса уже может восприниматься неверно [2].

С аппаратной стороны устойчивость обмена определяется правильностью подключения и согласованием интерфейсов. Для Arduino

Упо ключевую роль играют линии 0 RX и 1 TX, которые используются для приема и передачи данных. При соединении двух устройств линии должны быть подключены перекрестно, а при сопряжении с RS 232 требуется преобразование уровней, поскольку логика самого микроконтроллера и компьютерного интерфейса не совпадает. Ошибка на этом уровне приводит уже не к редким сбоям, а к систематическому нарушению приема и передачи [3].

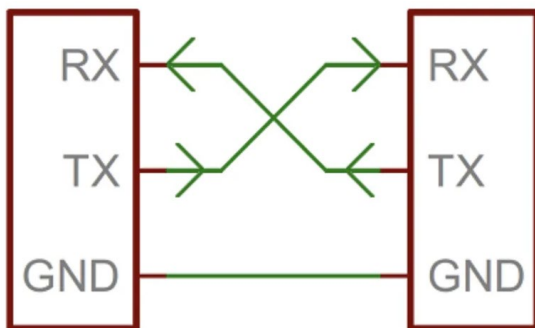


Рисунок 1. Правильное подключение RX и TX

Не менее важна и временная сторона обмена. UART работает как асинхронный интерфейс, где полезные данные сопровождаются стартовым и стоповыми битами, а правильный прием возможен лишь при совпадении скорости передатчика и приемника. В учебном пособии по программированию микроконтроллеров прямо отмечено, что допустимое расхождение частот ограничено, а диапазон используемых скоростей включает как низкие, так и достаточно высокие режимы вплоть до 115200 бит в секунду. Отсюда следует понятный вывод. Чем выше скорость и чем хуже согласованы параметры, тем выше чувствительность канала к ошибкам чтения [4].

С программной точки зрения источник ошибок нередко скрыт в самой организации работы скетча. В материалах по Arduino IDE подчеркивается, что монитор порта должен работать на той же скорости, которая задана в `Serial.begin(9600)`, а более высокие скорости задействуют больше ресурсов контроллера и чаще вызывают прерывания, из-за чего основная программа может выполняться медленнее. По этой причине причины ошибок удобно представить в виде сводной таблице 1, где видно, что сбой может возникать и в аппаратной, и в программной части проекта.

Таблица 1.

Фактор	Как возникает ошибка	Типичное проявление
Неверно выбранная скорость обмена	Параметр Serial.begin не совпадает с настройкой на принимающей стороне	Нечитаемые символы, искаженные сообщения
Рост нагрузки на контроллер при высокой скорости	Передача и обработка данных требуют больше ресурсов и чаще вызывают прерывания	Пропуски данных, нестабильный прием
Неправильное подключение RX и TX	Линии соединены неверно или не обеспечено общее согласование канала	Полное отсутствие обмена или постоянные сбои
Несовпадение временных параметров UART	Приемник и передатчик работают с разной скоростью и нарушают структуру кадра	Ошибки чтения отдельных байтов
Некорректная обработка входящих данных в программе	Скетч читает символы и команды без достаточного контроля последовательности приема	Неверная интерпретация команд и числовых значений

Анализ представленных факторов показывает, что ошибка Serial-обмена почти никогда не имеет одну причину. На практике аппаратная схема, скорость порта и логика программы действуют совместно. Даже при исправном подключении канал может работать нестабильно, если скорость выбрана слишком высокой для текущего режима работы скетча или если чтение данных встроено в перегруженный цикл. Поэтому при оценке частоты ошибок важно учитывать сам факт искажения сообщения и условия, при которых оно возникло.

Важная особенность связана с тем, что последовательный порт в Arduino используется для вывода служебной информации и для ввода команд, меню и числовых параметров с компьютера. В такой ситуации даже одиночная ошибка приобретает прикладное значение, поскольку меняет не просто текст на экране, а дальнейшее поведение программы. Именно поэтому при экспериментальной оценке частоты ошибок необходимо считать ошибкой каждое сообщение, принятое с искажением, пропуском символов или неверной интерпретацией введенных данных.

Значимость подобной проверки особенно заметна в тех задачах, где через последовательный канал передаются результаты измерений. В работах по использованию Arduino в физическом эксперименте показано, что плата может регулярно считывать значения с датчика и отправлять их на компьютер по UART. Если при таком обмене часть значений теряется или искажается, ошибка уже затрагивает не отдельный символ, а итоговую картину процесса. По этой причине при экспериментальной оценке частоты ошибок важно учитывать сам факт сбоя и последствия для данных, которые затем будут интерпретироваться как результаты измерения или наблюдения [2].

С аппаратной стороны проверка должна учитывать правильность соединения линии приема и передачи. Для Arduino Uno обмен опирается на выводы RX и TX, а при связке с внешними устройствами неверное подключение или несогласованность уровней дает устойчивую неисправность, а не случайные единичные сбои. В экспериментальном режиме это означает, что до подсчета частоты ошибок необходимо отделить редкие ошибки обмена от грубых аппаратных нарушений, когда канал изначально собран неверно. Иначе полученный результат будет отражать не качество Serial-обмена как такового, а простую ошибку коммутации [3].

На следующем уровне становится важна собственно физика асинхронной передачи. UART использует стартовый и стоповые биты, а корректность приема зависит от совпадения скорости работы приемника и передатчика. В пособии по микроконтроллерам прямо указано, что допустимое расхождение тактовых частот ограничено, а диапазон типовых скоростей включает 9600, 19200, 38400, 57600 и 115200 бит в секунду. Отсюда вытекает ключевой аналитический вывод. При переходе к более высоким скоростям канал становится чувствительнее к временным отклонениям, поэтому частота ошибок должна оцениваться не в одном режиме, а минимум в нескольких скоростных вариантах [4].

Предварительная проверка схемы и логики обмена может проводиться и в среде моделирования. В методическом пособии по разработке умных устройств на базе Arduino подчеркивается, что Tinkercad сочетает симуляцию электрических цепей и базовую эмуляцию функций Arduino. Для экспериментальной оценки ошибок такая среда не заменяет физическую проверку, но помогает заранее исключить часть логических недочетов в коде. За счет этого очная проверка на реальной плате оказывается более показательной, поскольку в ней уже меньше вероятность спутать ошибку обмена с ошибкой самой программы [5].

Отдельное влияние оказывает и программная нагрузка на контроллер. В учебных материалах по Arduino IDE отмечено, что при более

высоких скоростях обмена контроллер тратит больше ресурсов на обслуживание последовательного канала, а число прерываний возрастает. Из-за этого основной код может выполняться медленнее, а прием входящего потока становится менее ровным. В экспериментальном плане это означает, что рост частоты ошибок следует связывать со скоростью как числом и с тем, насколько загружен сам скетч. Один и тот же baud rate в простом и перегруженном проекте может давать разный уровень надежности [6].

На программном уровне важнейшим фактором остается способ чтения входящих данных. Материалы по чтению последовательного порта в Arduino показывают, что через Serial канал на плату могут поступать отдельные символы, команды, пункты меню и числовые значения. В таких условиях ошибка проявляется не всегда как полный разрыв связи. Намного чаще она выражается в неверной интерпретации введенной команды, пропуске части строки или чтении неполного значения. Поэтому итоговая экспериментальная оценка должна учитывать три формы сбоя. Искажение символов, выпадение части сообщения и логически неверное распознавание принятой команды. Именно такая трактовка лучше всего отражает реальную частоту ошибок Serial-обмена в проектах на платформе Arduino [7].

2 Экспериментальная оценка частоты ошибок Serial-обмена и анализ факторов, влияющих на их появление

Материалы и методы

Экспериментальная установка

Эксперимент проводился с использованием следующего оборудования и программного обеспечения:

- микроконтроллерная плата Arduino Uno R3 на базе ATmega328P;
- персональный компьютер под управлением операционной системы Windows;
- среда разработки Arduino IDE (версия 1.8.x или выше);
- стандартный USB-кабель для подключения платы к ПК;
- соединительные провода длиной 0,5 м и 5 м;
- источник электромагнитных помех – бытовой фен.

Передача данных осуществлялась по последовательному интерфейсу UART через виртуальный COM-порт, реализованный средствами USB-интерфейса платы Arduino.

Схема подключения

Плата Arduino подключалась к персональному компьютеру через USB-интерфейс.

Для моделирования влияния длины линии и помех использовались соединительные провода различной длины (0,5 м и 5 м), подключённые к выводам RX (0) и TX (1) микроконтроллера. В условиях воздействия помех провод размещался в непосредственной близости от работающего фена.

Программная реализация

На микроконтроллере выполнялся тестовый скетч, осуществляющий периодическую передачу фиксированного набора данных через последовательный порт с заданной скоростью (baud rate), задаваемой функцией:

```
Serial.begin(baud_rate);
```

Передаваемые данные представляли собой строку фиксированной длины, содержащую:

- последовательность символов (например, "TEST12345"),
- либо числовые значения, используемые для проверки корректности приёма.

На стороне ПК использовался монитор последовательного порта Arduino IDE для приёма и регистрации данных.

Параметры эксперимента

В ходе эксперимента варьировались следующие параметры:

- скорость передачи данных (9600, 57600, 115200 бод);
- длина соединительной линии (0,5 м и 5 м);
- наличие внешних электромагнитных помех.

Для каждого набора условий выполнялась серия из 5 измерений.

Дополнительно фиксировалось: общее число искажённых сообщений; случаи потери части сообщения; случаи некорректной интерпретации данных.

Сообщение считалось ошибочным, если: хотя бы один символ был искажён; часть сообщения отсутствовала; полученные данные не соответствовали ожидаемому шаблону.

Обработка результатов

Частота ошибок оценивалась по показателю BER (Bit Error Rate), определяемому как отношение числа ошибочно принятых битов к общему числу переданных битов:

$$BER = N_e / N \quad (1)$$

где: N_e – число ошибочных битов; N – общее число переданных битов.

Для каждого режима вычислялось среднее значение BER по результатам пяти измерений, а также среднеквадратичное отклонение σ .

3 Полученные результаты и их обсуждение

Результаты экспериментальной оценки частоты ошибок Serial-обмена при различных условиях передачи данных приведены в таблице 2

Таблица 2.

Оценка частоты ошибок Serial-обмена

№	Длина линии, м	Условия передачи	Скорость, бод	BER	σ (бит/бит)	Ошибки
1	0,5	без помех	115200	1.2×10^{-7}	0.3×10^{-7}	12
2	0,5	без помех	9600	$<1 \times 10^{-8}$	–	0
3	5	без помех	115200	4.5×10^{-5}	1.2×10^{-5}	450
4	5	помехи	57600	8.7×10^{-4}	2.1×10^{-4}	8700

Анализ полученных данных показывает, что надёжность последовательного обмена существенно зависит от скорости передачи, длины линии связи и наличия внешних помех.

Прежде всего отмечено влияние скорости передачи данных. При использовании скорости 9600 бод на короткой линии (0,5 м) ошибки не зафиксированы, а значение BER оказалось ниже порога измерения ($<1 \times 10^{-8}$). При увеличении скорости до 115200 бод в тех же условиях наблюдается появление ошибок ($BER \approx 1.2 \times 10^{-7}$), что указывает на рост чувствительности канала к временным рассогласованиям и нагрузке на контроллер.

Существенное влияние оказывает длина линии передачи. При увеличении длины провода с 0,5 м до 5 м на скорости 115200 бод значение BER возрастает на несколько порядков (до 4.5×10^{-5}), а число ошибок увеличивается с единичных значений до сотен. Это свидетельствует о повышении влияния затухания сигнала, наводок и искажений фронтов импульсов при увеличении длины соединения.

Наиболее значительное ухудшение качества связи наблюдается при одновременном увеличении длины линии и воздействии внешних помех. В условиях использования провода длиной 5 м и воздействия электромагнитных помех (нагрев феном) при скорости 57600 бод значение BER достигает 8.7×10^{-4} , а число ошибок возрастает до тысяч. Это указывает на высокую чувствительность UART-интерфейса к внешним электромагнитным воздействиям при недостаточной помехозащищённости линии.

Важно отметить, что в ходе эксперимента ошибки проявлялись не только в виде искажённых символов, но и в форме частичной потери

сообщений и некорректной интерпретации данных. Это подтверждает, что при практическом использовании Serial-обмена необходимо учитывать не только битовые ошибки, но и логические нарушения структуры передаваемой информации.

Заключение

Полученные результаты позволяют выделить несколько ключевых закономерностей:

- увеличение скорости передачи данных приводит к росту частоты ошибок даже при стабильных условиях соединения;
- увеличение длины линии существенно ухудшает качество передачи, особенно на высоких скоростях;
- внешние помехи оказывают наиболее сильное влияние, вызывая резкий рост BER;
- влияние факторов носит комбинированный характер: наибольшее количество ошибок наблюдается при одновременном действии нескольких неблагоприятных условий.

Таким образом, экспериментальная оценка показывает, что надёжность Serial-обмена в проектах на платформе Arduino не является фиксированной величиной и определяется совокупностью аппаратных и программных факторов. При проектировании систем необходимо учитывать ограничения по скорости передачи, длине соединений и условиям электромагнитной совместимости.

Список литературы:

1. Настройка UART соединения в Ардуино. АрдуиноПлюс. URL: <https://arduinoplus.ru/uart-soedinenie-arduino/> (дата обращения 02.04.2026).
2. Пономаренко В. И., Караваев А. С. Использование платформы Arduino в измерениях и физическом эксперименте // Изв. вузов «ПНД». 2014. Т. 22. № 4. С. 77–90.
3. Рогожников Г. С. Прикладные физические технологии и компьютерные методы исследований, автоматизированные системы управления оптическими и оптико-механическими устройствами. Пособие для высших учебных заведений. Саров, 2016. 69 с.
4. Самойлов С. А., Самойлов В. С. Программирование микроконтроллеров для беспроводных систем связи. Учебно-практическое пособие. – Владимир, Изд-во ВлГУ, 2023. 164 с.
5. Сомов А. С., Лыжин И. Г. Разработка умных устройств на базе Arduino. Методическое пособие. – М. : Сколковский институт науки и технологий, 2020. 80 с.

6. Ушанов К. П. Лабораторный практикум «Основы программирования на платформе Arduino». Выпускная квалификационная работа. Екатеринбург, 2017. 61 с.
7. Чтение последовательного порта в Arduino. RXTX. URL: <https://rxtx.su/mikrokontrollery/arduino/programmirovanie-arduino/chtenie-posledovatelno-go-porta-v-arduino/> (дата обращения 02.04.2026).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПУЛЬТА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ, РЕАЛИЗОВАННОГО НА ПЛАТФОРМЕ NODE-RED, ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ НА КОМПЬЮТЕРЕ И ОДНОПЛАТНОМ КОМПЬЮТЕРЕ

Самсонов Никита Александрович

студент,

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,

РФ, г. Зеленоград

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF AN AUTOMATED DIAGNOSTICS PANEL IMPLEMENTED ON THE NODE-RED PLATFORM WHEN DEPLOYED ON A COMPUTER AND A SINGLE-BOARD COMPUTER

Samsonov Nikita Aleksandrovich

Student,

National Research University "MIET",

Russia, Zelenograd

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема автоматизации процесса проверки основных показателей RFID-считывателя. Представлены основные преимущества программной реализации над ручным методом, включая повышение точности, сокращение времени диагностики и исключение ошибок оператора. Описаны практические результаты

внедрения автоматизированной системы проверки. Производится сравнение производительности на двух платформах таких как, одноплатный микрокомпьютер и персональный компьютер.

Abstract. The article discusses the current problem of automating the process of checking the main indicators of an RFID reader. The main advantages of software implementation over the manual method are presented, including increased accuracy, reduced diagnostic time, and elimination of operator errors. The practical results of implementing an automated verification system are described. The performance is compared on two platforms, such as a single-board microcomputer and a personal computer.

Ключевые слова: автоматизация, rfid-считыватель, диагностика, микрокомпьютер, node-red, raspberry pi 5.

Keywords: automation, rfid-reader, diagnostics, microcomputer, node-red, raspberry pi 5.

1. Введение

Современные электронные устройства становятся всё более сложными, что порождает необходимость проведения большего числа тестов в процессе их производства и контроля качества [1]. Часть из этих тестов по-прежнему выполняется вручную, что сопряжено с существенными временными и кадровыми затратами. Для повышения эффективности производственного процесса необходимо автоматизировать проверку параметров RFID-считывателей, что позволит сократить время диагностики и полностью исключить ошибки, обусловленные человеческим фактором [2].

Традиционный подход предполагает ручное управление множеством органов управления и последовательный ввод параметров оператором. Ручная проверка производительности является трудоёмким процессом, подверженным рискам человеческих ошибок и требующим значительных временных затрат. В условиях современного промышленного производства, где необходимо проводить большой объём функциональных испытаний, такой подход становится неприемлемым с точки зрения производительности [2].

Целью данного исследования является оценка преимуществ автоматизированной диагностики RFID-считывателей [4] и обоснование целесообразности внедрения программных решений в производственный процесс, а также сравнительный анализ эффективности развёртывания разработанного программного обеспечения на персональном компьютере и одноплатном микрокомпьютере Raspberry Pi 5.

2. Описание проблем ручной диагностики

На достоверность и корректность результатов тестирования RFID-считывателя влияют как точность настройки параметров анализатора спектра, так и последующая проверка уровней излучаемой мощности [1]. Проведение диагностики требует от оператора профессиональных навыков и высокой степени внимательности, поскольку на надёжность результатов влияет множество факторов: точность калибровки отражается на качестве получаемых данных, оптимизация параметров сокращает время анализа, а правильная подготовка прибора обеспечивает достоверность испытаний. Кроме того, оператор обязан знать регламентированный алгоритм тестирования, позволяющий точно определить параметры мощности считывателя.

Процедура ручной настройки и диагностики требует последовательного ввода многочисленных параметров посредством интерфейса управления прибором. Некорректное задание даже единственного параметра способно привести к искажению результатов измерений и, как следствие, к формированию недостоверных выводов о проверяемом устройстве.

3. Платформа разработки Node-RED

Для реализации требуемых алгоритмов автоматизированной диагностики было принято решение использовать среду разработки Node-RED [5]. Выбор данной платформы обусловлен её кроссплатформенностью и поддержкой визуального программирования потоков данных, что обеспечивает единообразие программной логики при развёртывании на разнородных вычислительных модулях. Использование единой программной базы является критическим условием для проведения корректного сравнительного анализа производительности между персональным компьютером и одноплатным микрокомпьютером.

Node-RED представляет собой инструмент потокового (flow-based) программирования с открытым исходным кодом, изначально разработанный компанией IBM для создания приложений Интернета вещей (IoT). В настоящее время платформа широко применяется в задачах промышленной автоматизации, системах «умного дома» и других областях, требующих интеграции различных протоколов и сервисов.

Node-RED написан на платформе выполнения JavaScript (Node.js), что обеспечивает высокую кроссплатформенность: программное обеспечение может быть развёрнуто как на мощных серверах, так и на ресурсоограниченных устройствах, например на одноплатных компьютерах (Raspberry Pi) или промышленных шлюзах. Лёгкость ядра позволяет использовать платформу в периферийных вычислениях (Edge

Computing) [3], обрабатывая данные непосредственно в месте их возникновения, что снижает нагрузку на сеть и уменьшает задержки реакции системы.

Архитектура Node-RED предусматривает возможность создания пользовательских узлов, что обеспечивает высокую степень адаптации платформы под специфические требования конкретного проекта или отрасли. На март 2026 года репозиторий сообщества насчитывает несколько тысяч опубликованных узлов, охватывающих большинство востребованных протоколов, облачных платформ, баз данных, систем уведомлений и устройств промышленной автоматизации.

Несмотря на визуальный характер среды разработки, платформа не ограничивает возможности разработчика: узлы функций позволяют встраивать произвольный код на языке JavaScript для реализации сложной логики, математических вычислений или обработки данных. Node-RED сочетает удобство визуального конструирования с мощностью традиционного программирования, что делает его универсальным инструментом как для небольших автоматизированных решений, так и для масштабных промышленных систем.

В нашем случае было создано ПО для проведения автоматизированной диагностики RFID-считывателя.

4. Технические характеристики исследуемых платформ

Разработка программного обеспечения велась на персональном компьютере, технические характеристики которого приведены в таблице 1. В качестве альтернативной платформы для развёртывания разработанного ПО был выбран одноплатный микрокомпьютер Raspberry Pi 5[6] (таблица 2).

Таблица 1.

Технические характеристики персонального компьютера

Параметр	Конфигурация персонального компьютера
Процессор	Intel Core i7-12700KF, 12 ядер, 3.6-5 ГГц
Оперативная память	32 Гб, DDR5, 4800 МГц
Видеоадаптер	Nvidia GeForce GT 1030, 2 GB
Накопитель	SSD M.2 NVME 512ГБ
Операционная система	Windows 10 Pro (64-bit)

Таблица 2.

Технические характеристики Raspberry Pi 5

Параметр	Конфигурация одноплатного микрокомпьютера
Процессор	Broadcom BCM2712, 4 ядра, 2.4 ГГц
Оперативная память	16 Гб, LPDDR4X, 4267 SDRAM
Видеоадаптер	ARM Cortex-A76
Накопитель	Micro SD Card 64 GB
Операционная система	Raspberry Pi OS (64-bit)

5. Преимущества Raspberry Pi 5 по сравнению со стационарным персональным компьютером

Выбор одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi 5 в качестве целевой платформы для развёртывания системы автоматизированной диагностики обусловлен рядом существенных преимуществ перед стационарным ПК [6].

- Габариты Raspberry Pi 5 составляют всего 85×56 мм, что позволяет интегрировать устройство непосредственно в состав диагностического стенда или разместить его в теснённых условиях производственного помещения.

- Raspberry Pi 5 потребляет в рабочем режиме от 5 до 12 Вт, тогда как стационарный ПК с процессором Intel Core i7-12700KF при нагрузке потребляет от 150 до 250 Вт. При круглосуточной эксплуатации разница в энергопотреблении составит несколько тысяч кВт·ч в год, что существенно снижает эксплуатационные расходы.

- Стоимость полностью укомплектованной системы на базе Raspberry Pi 5 в несколько раз меньше, чем аналогичная система на базе стационарного ПК.

- Встроенные интерфейсы GPIO. Raspberry Pi 5 оснащён 40-контактным разъёмом GPIO, обеспечивающим прямое аппаратное взаимодействие с периферийным оборудованием диагностического стенда без использования дополнительных плат расширения или промышленных шлюзов.

- При необходимости Raspberry Pi 5 может быть оперативно перемещён между рабочими местами или заменён без демонтажа капитального оборудования. Развёртывание нескольких идентичных систем диагностики на разных производственных участках не требует значительных капитальных вложений.

6. Недостатки Raspberry Pi 5 по сравнению со стационарным персональным компьютером

– Платформа Raspberry Pi 5 оснащена четырёхъядерным процессором ARM Cortex-A76 с тактовой частотой 2,4 ГГц и оперативной памятью типа LPDDR4X объёмом до 16 ГБ без возможности расширения. Данные характеристики существенно уступают возможностям современных стационарных персональных компьютеров, способных поддерживать в разы больший объём оперативной памяти.

– Штатным носителем информации в Raspberry Pi 5 служит карта памяти формата microSD, характеризующаяся ограниченным ресурсом циклов записи и недостаточной устойчивостью к внезапному отключению питания. Применение NVMe-накопителей посредством дополнительных плат расширения частично устраняет данный недостаток, однако сопряжено с усложнением конструкции и увеличением стоимости решения.

– Стандартные промышленные интерфейсы передачи данных – RS-232, RS-485, CAN-bus, – широко применяемые в системах автоматизации для взаимодействия с программируемыми логическими контроллерами и исполнительными устройствами, в Raspberry Pi 5 аппаратно не реализованы. Их подключение требует использования внешних конвертеров и гальванической развязки, что увеличивает сложность и стоимость системы.

– Одним из существенных конструктивных преимуществ стационарного персонального компьютера является его модульная архитектура, предполагающая возможность независимой замены отдельных аппаратных компонентов. В случае выхода из строя какого-либо узла – процессора, модуля оперативной памяти, накопителя, сетевого адаптера или блока питания – данный компонент может быть оперативно заменён без необходимости замены всей системы целиком.

7. Сравнительный анализ стоимости платформ

Одним из ключевых критериев при выборе платформы для развёртывания производственной системы диагностики является совокупная стоимость владения. В 2025-2026 годах рынок комплектующих для персональных компьютеров во всём мире характеризуется рядом факторов, существенно влияющих на ценообразование.

Среди актуальных рыночных факторов следует выделить следующие: дефицит модулей оперативной памяти стандарта DDR4/DDR5 на рынке комплектующих привёл к росту их стоимости на 30-45% по сравнению с уровнем 2023 года. Что соответственно, напрямую сказывается на целесообразности сборки компьютера.

Таблица 3.

Ориентировочная стоимость системы на базе персонального компьютера

Компонент	Примерная стоимость (руб.)
Intel Core i7-12700KF, 12 ядер, 3.6-5 ГГц	25 000
32 Гб, DDR5, 4800 МГц	35 000
Nvidia GeForce GT 1030, 2 GB	8 900
SSD M.2 NVME 512ГБ	7 600
MSI MAG B760 TOMAHAWK WIFI	16 000
DEEPCOOL GamerStorm PQ750G	8 200
Осупус Gamma C70	3 300
ID-Cooling SE-610-XT BASIC	2 500
ИТОГО(ориентировочно)	106000

Таблица 4.

Ориентировочная стоимость системы на базе Raspberry Pi 5

Компонент	Примерная стоимость (руб.)
Raspberry Pi 5 (16 Гб)	18 000
Блок питания USB-C (27 Вт)	2 500
Корпус с активным охлаждением	1 500
ИТОГО (ориентировочно)	22 000

Ориентировочная стоимость полностью укомплектованной системы на базе стационарного ПК в рассматриваемой конфигурации составляет 106000 рублей (без учёта монитора и периферийных устройств). Аналогичная по функциональности система на базе Raspberry Pi 5 обойдётся в 22000 рублей. Экономия при использовании одноплатного решения составляет от 4 до 5 раз, что при развёртывании нескольких диагностических стендов приобретает особую значимость.

Необходимо учитывать, что оперативная память DDR5, используемая в рассматриваемой конфигурации ПК (32 Гб, 4800 МГц). Стоимость данного компонента может существенно варьироваться в зависимости от доступности, производителя и момента закупки. В Raspberry Pi 5 используется память типа LPDDR4X, которая интегрирована непосредственно в плату и не требует отдельной закупки.

8. Протокол SSH и его преимущества при работе с Raspberry Pi

Значимым эксплуатационным преимуществом Raspberry Pi в промышленном применении является поддержка протокола SSH (Secure Shell – защищённая оболочка), обеспечивающего возможность полноценного удалённого управления системой.

SSH – это криптографический сетевой протокол прикладного уровня, предназначенный для безопасного удалённого доступа к операционной системе, передачи файлов и выполнения команд через защищённую сеть. Протокол был разработан в 1995 году как замена небезопасным протоколам Telnet и rlogin и в настоящее время является отраслевым стандартом удалённого администрирования Unix/Linux-систем.

Для активации SSH на Raspberry Pi достаточно выполнить единственную команду в терминале или включить соответствующую опцию в утилите `raspi-config`. После этого устройство становится доступным для удалённого управления из любой точки локальной или глобальной сети.

Ключевые преимущества использования SSH применительно к задачам данной работы:

- Весь трафик между клиентом и сервером шифруется с использованием современных криптографических алгоритмов (RSA, Ed25519, AES-256). Это исключает возможность перехвата учётных данных или команд управления злоумышленниками, что особенно важно в производственных сетях.

- После начальной настройки Raspberry Pi может функционировать в безголовом режиме – без подключённых монитора, клавиатуры и мыши. Все операции по обслуживанию, обновлению ПО и диагностике системы выполняются удалённо через SSH-клиент (например, PuTTY под Windows или встроенный терминал в Linux/macOS).

- На базе SSH реализованы протоколы SCP и SFTP, позволяющие безопасно передавать файлы конфигурации, обновления программных потоков Node-RED и журналы диагностики между рабочей станцией оператора и устройством.

- SSH поддерживает создание зашифрованных туннелей для безопасного доступа к веб-интерфейсу Node-RED или другим сервисам на Raspberry Pi через интернет без необходимости открывать дополнительные порты в брандмауэре.

- В отличие от парольной аутентификации, SSH поддерживает аутентификацию на основе пары криптографических ключей (открытый/закрытый), что полностью исключает возможность подбора пароля методом перебора (brute-force) и обеспечивает более высокий уровень безопасности автоматизированного доступа.

– SSH позволяет выполнять скрипты и команды на удалённом устройстве в неинтерактивном режиме, что открывает возможность автоматизации рутинных операций: сбора логов, перезапуска сервисов Node-RED, мониторинга состояния системы и планового обновления программного обеспечения.

– Для организации SSH-доступа достаточно наличия сетевого подключения (Ethernet или Wi-Fi). SSH-сервер (OpenSSH) входит в стандартный состав операционной системы Raspberry Pi OS и не требует дополнительных лицензионных отчислений.

В контексте производственной эксплуатации системы автоматизированной диагностики SSH предоставляет инженерному персоналу возможность оперативного вмешательства в работу системы без физического присутствия на рабочем месте, что сокращает время реакции на нештатные ситуации и уменьшает операционные расходы на обслуживание.

9. Экспериментальное сравнение платформ

Для объективного сравнения двух платформ была проведена серия из семи последовательных тестов в идентичных условиях: использовался один и тот же RFID-считыватель и анализатор спектра. Различались лишь вычислительные платформы, на которых исполнялось разработанное программное обеспечение. Результаты замеров времени диагностики (в секундах) приведены в таблице 5 и на диаграмме (рисунок 1).

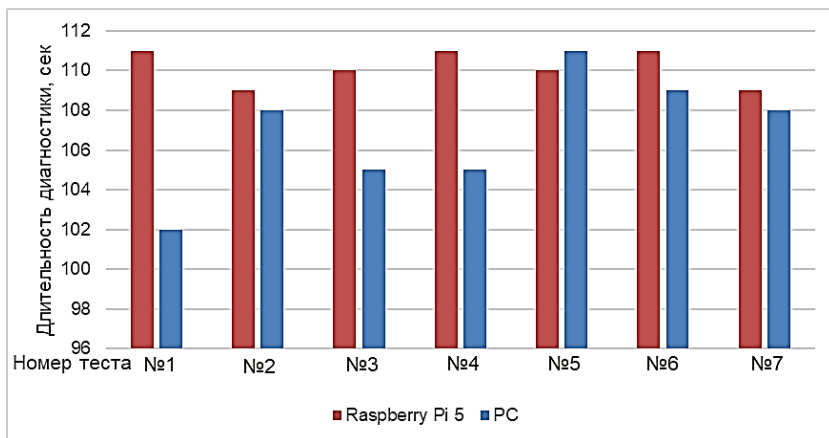


Рисунок 1. Сравнение времени диагностики на Raspberry Pi 5 и персональном компьютере

В (таблице 5) представлены основные показатели сравнения двух платформ.

Таблица 5.

Статистические показатели времени диагностики (в секундах)

Платформа	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	Среднее	Минимальное	Максимальное
Raspberry Pi 5	111	109	110	111	110	111	109	110.1	109	111
PC	102	108	105	105	111	109	108	106.9	102	111

Для наглядной оценки эффективности внедрения разработанного ПО был проведён дополнительный сравнительный анализ, в котором результаты автоматизированной диагностики сопоставлялись с результатами ручной проверки. Данные представлены в таблице 6 и проиллюстрированы диаграммой (рисунок 2).

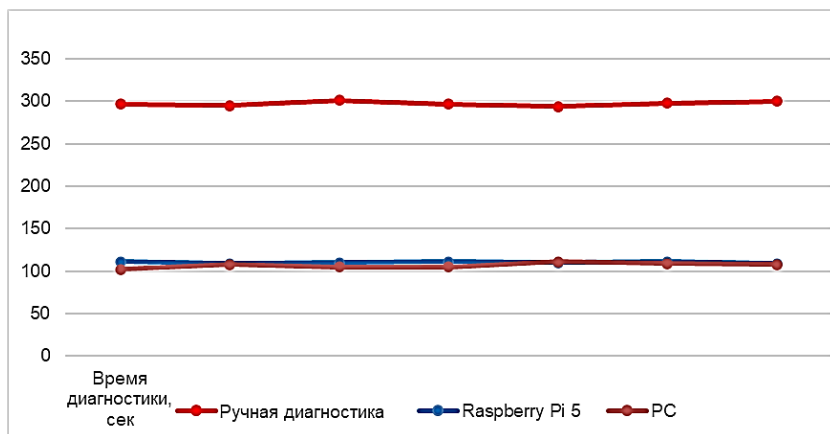


Рисунок 2. Сравнение времени диагностики после внедрения ПО

Таблица 6.

Статистические показатели времени диагностик после внедрения
ПО (в секундах)

Платформа	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	Среднее	Минимальное	Максимальное
Ручная диагностика	297	295	301	297	294	298	300	297.4	294	301
Raspberry Pi 5	111	109	110	111	110	111	109	110.1	109	111
PC	102	108	105	105	111	109	108	106.9	102	111

10. Анализ результатов

На основе полученных данных проведём сравнительный расчёт производительности двух платформ в пересчёте на рабочий день и рабочий месяц.

Продолжительность рабочего дня составляет 8 часов, что в секундах равно $8 \times 60 \times 60 = 28\,800$ с. При среднем времени диагностики одного RFID-считывателя на Raspberry Pi 5, равном 110,1 с, количество проверенных устройств за рабочий день составит: $28\,800 / 110,1 \approx 261,6$ единицы. За месяц при 22 рабочих днях: $261,6 \times 22 = 5\,755,2$ единицы.

Для персонального компьютера при среднем времени диагностики 106,9 с: $28\,800 / 106,9 \approx 269,4$ единицы за день и $269,4 \times 22 = 5\,926,8$ единицы за месяц.

Разница в производительности двух платформ составляет $5\,926,8 - 5\,755,2 = 171,6$ единицы в месяц. В относительном выражении производительность Raspberry Pi 5 составляет $(5\,755,2 / 5\,926,8) \times 100\% \approx 97,1\%$ от производительности ПК, то есть отставание не превышает 2,9%.

Столь незначительная разница в производительности на фоне существенных преимуществ одноплатного решения – в первую очередь стоимости (в 4-5 раз ниже), компактности и возможности удалённого управления по SSH – делает Raspberry Pi 5 очевидно более рациональным выбором для применения в качестве платформы производственной системы автоматизированной диагностики.

11. Выводы

В ходе данной работы был разработан пульт автоматизированной диагностики RFID-считывателей на платформе Node-RED и проведён сравнительный анализ его производительности при развёртывании на стационарном персональном компьютере и одноплатном микрокомпьютере Raspberry Pi 5. На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

– Автоматизация процесса диагностики обеспечивает сокращение времени тестирования одного RFID-считывателя в 2,7 раза по сравнению с ручным методом (в среднем с 297,4 с до ~108,5 с) и полностью исключает ошибки оператора.

– Разница в производительности между Raspberry Pi 5 и стационарным ПК составляет менее 3%, что является пренебрежимо малой величиной для задач данного класса.

– Raspberry Pi 5 обладает существенными преимуществами перед стационарным ПК: стоимость комплектной системы в 4-5 раз ниже (18 500-31 000 руб. против 78 500-134 000 руб.), потребляемая мощность ниже примерно в 15-20 раз, а компактный форм-фактор позволяет интегрировать устройство непосредственно в состав диагностического стенда.

– Поддержка протокола SSH в операционной системе Raspberry Pi OS обеспечивает удобное и безопасное удалённое администрирование системы без необходимости физического присутствия оператора у стенда, что дополнительно снижает эксплуатационные расходы.

Применение Raspberry Pi 5 в качестве платформы для пульта автоматизированной диагностики является экономически и технически обоснованным решением, обеспечивающим высокую производительность при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах.

Список литературы:

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 18000-6-2011. Информационные технологии. Идентификация радиочастотная для управления предметами. – М.: Стандартинформ, 2012. – 54 с.

2. Суворов А.К., Козлов В.Н. Автоматизация производственного контроля качества радиоэлектронной аппаратуры // Вестник МИЭТ. – 2022. – № 3. – С. 45–52.
3. Buaya R., Srirama S.N. Fog and Edge Computing: Principles and Paradigms. – Hoboken: Wiley, 2019. – 600 p.
4. Finkenzeller K. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication. – 3rd ed. – Chichester: Wiley, 2010. – 478 p.
5. Node-RED Foundation. Node-RED: Low-code programming for event-driven applications. – URL: <https://nodered.org/docs/> (дата обращения: 01.03.2026).
6. Raspberry Pi Ltd. Raspberry Pi 5 Product Brief. – 2023. – URL: <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi5/raspberry-pi-5-product-brief.pdf> (дата обращения: 01.03.2026).

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЫНОЧНЫХ СЦЕНАРИЕВ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ВАЛИДАЦИИ ТОРГОВЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Солобута Алексей Викторович

*соискатель
степени кандидата технических наук,
Московский финансово-юридический
университет МФЮА,
РФ, г. Москва*

MONTE CARLO-BASED MARKET SCENARIO MODELING FOR THE VALIDATION OF MACHINE LEARNING TRADING MODELS

Solobuto Alexey Viktorovich

*Applicant
of the degree of candidate of technical sciences,
Moscow university of Finance and Law MFUA,
Russia, Moscow*

Аннотация. В работе рассматривается применение метода Монте-Карло для моделирования различных рыночных сценариев с целью валидации торговых моделей машинного обучения. Одной из ключевых проблем валидации торговых алгоритмов является ограниченность исторических данных: их объём часто является недостаточным для надёжной оценки обобщающей способности моделей, что приводит к риску переобучения моделей. Предложен подход к генерации синтетических временных рядов, отражающих различные режимы поведения финансовых рынков. Проведен сравнительный анализ результатов валидации моделей на исторических и сгенерированных данных. Показано, что использование метода Монте-Карло позволяет повысить надёжность оценки качества моделей и выявить их чувствительность к изменению рыночных условий. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и тестировании алгоритмических торговых систем.

Abstract. This paper examines the application of the Monte Carlo method for modeling various market scenarios to validate machine learning trading models. One of the key challenges in validating trading algorithms is the limited availability of historical data—the volume of such data is often

insufficient for reliably assessing the generalization capability of models, leading to the risk of overfitting. An approach to generating synthetic time series that reflect different regimes of financial market behavior is proposed. A comparative analysis of model validation results on historical and generated data is conducted. It is shown that using the Monte Carlo method improves the reliability of model quality assessment and reveals their sensitivity to changing market conditions. The results obtained can be applied in the development and testing of algorithmic trading systems.

Ключевые слова: метод Монте-Карло, моделирование рыночных сценариев, валидация моделей, синтетические данные, временные ряды.

Keywords: Monte Carlo method, market scenario simulation, model validation, synthetic data, time series.

Введение. При разработке торговых стратегий на основе моделей машинного обучения наблюдается проблема в виде малого количества данных, а следовательно, и рыночных сценариев для тестирования моделей [1]. Также стоит отметить, что финансовые временные ряды являются нестационарными: статистические характеристики рынка изменяются во времени, а история представляет собой лишь одну единственную реализацию стохастического процесса [2].

Традиционный подход, представляющий собой тестирование на исторических данных, имеет 2 существенных недостатка. Во-первых, он не позволяет отличить истинную предсказательную способность модели от совпадений, вызванных последовательностью рыночных шумов. Во-вторых, модель, показывающая доходность на одном историческом периоде, часто теряет свою эффективность на других исторических периодах и рыночных сценариях.

Классические методы, применяемые в машинном обучении, предполагают разбиение выборки на обучающую и тестовую выборки, однако у данного подхода в рамках торговых моделей есть существенная проблема: при разделении выборок остается только одна тестовая траектория, что делает статистические выводы о модели ненадежными [3]. Возникает необходимость в подходе, позволяющем оценить поведение системы на различных рыночных условиях, которые не наблюдались в прошлом, но являются вероятными с точки зрения статистики.

Материалы и методы. Для преодоления ограничений классического подхода к валидации на основе исторических данных используется метод Монте-Карло [4], позволяющий перейти от анализа единственного наблюдаемого сценария к исследованию совокупности

возможных траекторий, формируемых в соответствии с его вероятностными характеристиками.

Процедура валидации делится на 3 этапа: калибровка параметров, генерация синтетических рыночных сред, тестирование модели на полученных средах.

На первом этапе на основе исторических данных производится калибровка параметров стохастической модели, описывающей динамику поведения цен и объёмов активов.

Далее генерируется множество синтетических рыночных сред. Каждая из этих сред представляет собой альтернативную историю развития рынка, но имеет уникальную реализацию благодаря случайному шуму.

На полученном наборе сценариев проводится тестирование торговой модели машинного обучения. Данный подход решает проблему недостаточности исторических данных за счёт трёх ключевых механизмов:

1. ММК искусственно расширяет выборку, позволяя оценить поведение в различных рыночных ситуациях, которые статистически возможны, но не возникали в прошлом.

2. Анализ распределения позволяет определить долю сценариев, в которых модель остается прибыльной.

3. Меняя параметры генерации, можно оценить устойчивость модели к кризисным ситуациям.

В данной реализации метода Монте-Карло используется геометрическое броуновское движение [5] (1):

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dW_t \quad (1)$$

Параметры геометрического броуновского движения, используемые в модели, включают дрейф, волатильность и случайную компоненту. Значение параметра дрейфа $\mu = 0,05$ отражает долгосрочную тенденцию роста ликвидности. Волатильность $\sigma = 0,35$ характеризует степень изменчивости актива за рассматриваемый период времени. Случайная составляющая процесса dW_t моделируется как нормально распределённая величина с параметрами $\mathcal{N}(0,1)$ и обеспечивает генерацию уникальных траекторий при каждом моделировании.

После получения статистических параметров модели необходимо задать начальные условия: последнее наблюдаемое значение, горизонт планирования и число симуляций. С использованием генератора псевдослучайных чисел формируется последовательность нормально

распределённых величин, которая подставляется в модель для пошагового вычисления значения показателя.

На следующем этапе многократно повторяется процедура генерации траекторий, в результате чего формируется набор рыночных сценариев. Каждый сценарий рассчитывается рекурсивно, опираясь на предыдущее значение и случайную компоненту, что обеспечивает стохастический сценарий моделирования. Полученные результаты агрегируются и визуализируются в виде совокупности кривых.

Для реализации метода использовались программные пакеты Pandas и Numpy. Библиотека Pandas применялась для загрузки, структурирования и предобработки данных, тогда как Numpy использовалась для генерации случайных величин. Визуализация полученных результатов осуществлялась с помощью библиотеки Matplotlib.

В качестве исходных данных для моделирования использовались временные ряды наблюдений, включающие значения цен закрытия (вещественные числа) и объёмы торгов (количественные данные) индекса Московской биржи [6]. Результаты моделирования изображены на рисунках 1 и 2 для цен и объёмов соответственно.

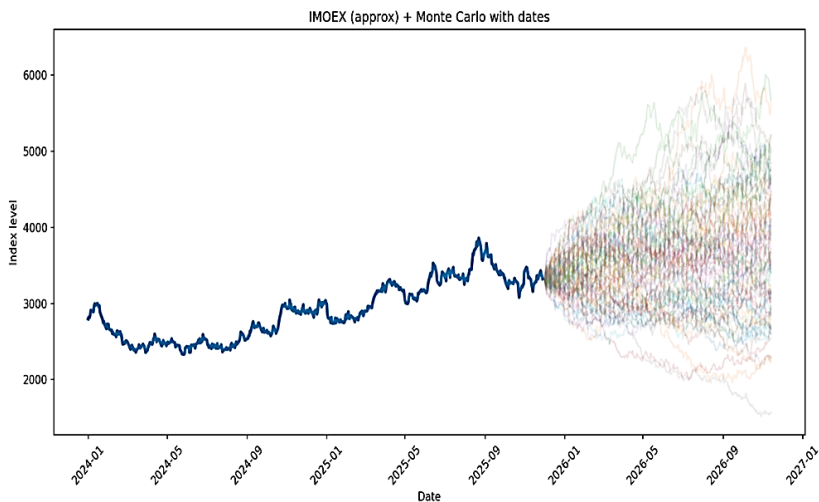


Рисунок 1. Пример генерации рыночных сценариев методом Монте-Карло для цены IMOEX

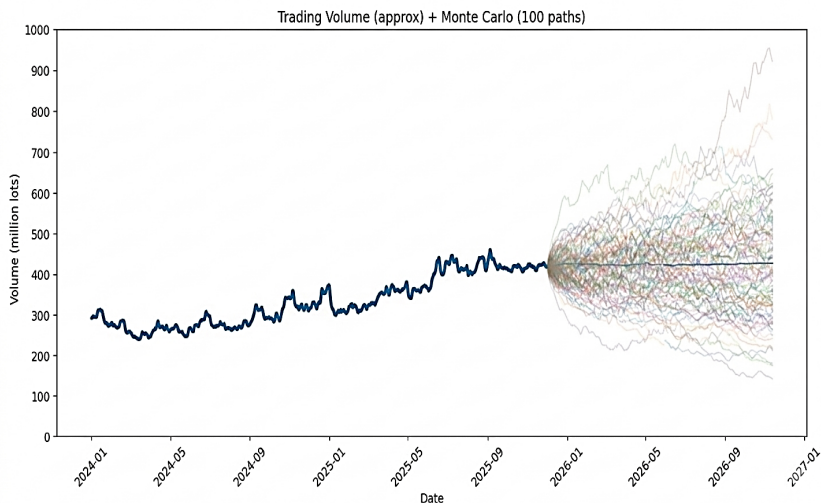


Рисунок 2. Пример генерации рыночных сценариев методом Монте-Карло для объёмов IMOEX

Метод Монте-Карло позволяет промоделировать самые разные сценарии: как приближенные к исходному поведению, так и совсем экстремальные, что позволяет протестировать работу модели в самых разных условиях.

Результаты и обсуждение. Для валидации с помощью сгенерированных сценариев была выбрана модель CatBoostClassifier [7], для оценки качества модели были выбраны метрики классификации [8]. Валидация на синтетических данных позволила выявить проблемы, которые невозможно было выявить, проводя тесты только на исторических данных, для этого было проведено тестирование на 3 различных сценариях:

1. Стрессовом
2. Близком к исходному
3. Благоприятном

Результаты тестирования указаны в таблице 1

Таблица 1.

Сравнение метрик качества модели классификации CatBoost для исторических данных и для синтетических данных

	Исторические данные	Синтетические данные (стрессовый сценарий)	Синтетические данные (приближенный сценарий)	Синтетические данные (благоприятный сценарий)
Accuracy	0.69	0.51	0.69	0.87
Precision	0.68	0.51	0.68	0.85
Recall	0.73	0.54	0.72	0.9
F1 score	0.70	0.52	0.70	0.87
ROC-AUC	0.77	0.51	0.70	0.88

Валидация на синтетических данных выявила особенности модели, которые оставались скрытыми при тестах на исторических данных. Было обнаружено, что модель очень чувствительна к шуму при стресс-тестировании, что делает её неприменимой в кризисных ситуациях.

Выводы. Применение метода Монте-Карло для валидации торговых моделей машинного обучения позволяет повысить надёжность оценки качества моделей.

Метод Монте-Карло отсеивает стратегии, которые обладают ложной эффективностью на исторических данных, но не имеют истинной предсказательной силы. Анализ метрик классификации на различных сценариях позволяет составить более широкое представление об эффективности модели.

Таким образом, интеграция метода Монте-Карло в процесс валидации торговых моделей машинного обучения является необходимым условием для построения устойчивых к неопределённости и статистически значимых торговых систем на основе методов машинного обучения.

Список литературы:

1. Ritter G. Machine Learning for Trading // SSRN Electronic Journal. – 2017. – №3. – С. 12-31

2. Мазуров М. Е., Слипченко А. В. Развитие методологии прогнозирования нестационарных финансовых временных рядов // Экономика и бизнес. – 2025. – №5. – С. 286–289.
3. Хуснутдинов А. О., Хабаров В. И., Карманов В. С. Глубокое обучение для анализа многомерных временных рядов: систематизация типов данных, задач, архитектур и подходов // Компьютерные и информационные науки. – 2025. – №3. – С. 113–136.
4. Glosserman P. Monte Carlo methods in Financial Engineering. – 3 изд. – Luxemburg: Springer, 2004. – 596 с.
5. Гушин А. А., Урусов М. А. Процессы, вкладывающиеся в геометрическое броуновское движение // Теория вероятностей и ее применения. – 2015. – №2. – С. 248–271.
6. Котировки московской биржи // Сайт московской биржи URL: <https://www.moex.com/ru/data/> (дата обращения: 03.03.2026).
7. Солобуто А. В., Павлов В. А. Применение градиентного бустинга для прогнозирования стоимости ценных бумаг // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2025. – №8. – С. 137–142.
8. Михайличенко А. А. Аналитический обзор методов оценки качества алгоритмов классификации в задачах машинного обучения // Вестник АГУ. – 2022. – №4. – С. 52–59.

МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ В ЦИФРОВЫХ ИНФРАСТРУКТУРАХ

Чайкина Наталья Александровна

студент,

*Национальный исследовательский
университет «МИЭТ»,*

РФ, г. Зеленоград

Плотникова Кристина Артёмовна

студент,

*Национальный исследовательский
университет «МИЭТ»,*

РФ, г. Зеленоград

Воронин Дмитрий Александрович

студент,

Национальный исследовательский

университет «МИЭТ»,

РФ, г. Зеленоград

METHODS OF INTELLIGENT CONTROL AND MANAGEMENT IN DIGITAL INFRASTRUCTURES

Chaikina Natalia Alexandrovna

Student,

National Research University "MIET",

Russia, Zelenograd

Plotnikova Kristina Artemovna

Student,

National Research University "MIET",

Russia, Zelenograd

Voronin Dmitry Alexandrovich

Student,

National Research University "MIET",

Russia, Zelenograd

Аннотация. Статья рассматривает интеллектуальные методы контроля и управления в распределённых цифровых инфраструктурах. Анализируются агентный мониторинг, машинное обучение, нечёткая логика и предиктивное управление. На примере дата-центра показана эффективность гибридных архитектур, сочетающих локальную автономию, прогнозирование и устойчивость к неопределённости. Выделены основные барьеры внедрения: вычислительная сложность и объяснимость решений.

Abstract. The article examines intelligent control and management methods in distributed digital infrastructures. Agent-based monitoring, machine learning, fuzzy logic, and predictive control are analyzed. Using the example of a data center, the effectiveness of hybrid architectures combining local autonomy, forecasting and resistance to uncertainty is shown. The main barriers to implementation are highlighted: computational complexity and explainability of solutions.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, цифровая инфраструктура, агентный мониторинг, предиктивное управление, обнаружение аномалий.

Keywords: intelligent management, digital infrastructure, agent-based monitoring, predictive management, anomaly detection.

Введение

Цифровая инфраструктура в современном понимании уже не ограничивается совокупностью вычислительных ресурсов, каналов передачи данных и прикладного программного обеспечения. Она представляет собой сложную многослойную систему, в рамках которой вычислительные узлы, сетевые сервисы, сенсорные устройства, исполнительные механизмы, облачные решения и аналитические компоненты функционируют одновременно и находятся в состоянии постоянного взаимного влияния [1].

В подобных условиях отказ отдельного элемента редко имеет изолированный характер. Например, локальная перегрузка сетевого сегмента способна привести к искажению телеметрических данных; некорректная телеметрия, в свою очередь, влияет на результаты аналитических моделей; ошибки в моделях могут трансформироваться в некорректные управляющие воздействия на физическом уровне системы. Таким образом, формируется цепочка взаимосвязанных отклонений, распространяющихся по различным уровням инфраструктуры.

Именно в таких сценариях традиционные методы контроля демонстрируют ограниченную эффективность. Классические подходы диспетчеризации исходят из предположения о возможности централизованного наблюдения состояния объекта, относительной стабильности его параметров и предсказуемости типовых отклонений. Однако для распределённых цифровых инфраструктур данные предпосылки зачастую не выполняются. Сервисы динамически масштабируются, вычислительные узлы мигрируют между сегментами, часть управленческих решений принимается на периферийном уровне, а поступающая информация характеризуется вариативной задержкой и неоднородной достоверностью.

В результате возникает принципиальная проблема актуальности наблюдаемого состояния. Если оператор или управляющая система опираются на устаревшие данные, то даже корректно сформированное управляющее воздействие может оказаться несвоевременным и, следовательно, неэффективным. Это обстоятельство требует пересмотра самих принципов организации контроля и управления.

Дополнительную значимость интеллектуальным методам придаёт изменение характера отказов. В современных инфраструктурах всё чаще наблюдаются не единичные аварийные события, а совокупности малых отклонений, каждое из которых по отдельности не выходит за допустимые пределы, но их комбинация приводит к формированию критических состояний. В связи с этим задачи инженерного контроля смещаются от простой регистрации сбоев к раннему выявлению негативных тенденций и прогнозированию развития системы.

Следовательно, контроль должен не только фиксировать уже произошедшие события, но и выявлять динамику изменений, оценивать риски и формировать основания для упреждающего управления. Это приводит к необходимости внедрения интеллектуальных методов, способных работать в условиях неопределённости, неполноты данных и высокой изменчивости среды. В таких условиях алгоритмы машинного обучения, распределённого анализа и адаптивного регулирования становятся не вспомогательными инструментами, а ключевыми элементами современного контура управления цифровой инфраструктурой [2].

Основные понятия и эволюция подходов

Под цифровой инфраструктурой в инженерном смысле целесообразно понимать организованную среду вычисления, хранения, передачи и интерпретации данных, встроенную в производственные, энергетические, транспортные или сервисные процессы. Ее главная особенность состоит в том, что данные здесь не просто описывают состояние объекта, а инициируют решения, непосредственно влияющие на этот объект. Это уже не пассивная информационная система, а активный участник управления.

Исторически ранние подходы к контролю строились вокруг централизованных систем диспетчеризации. Наиболее известный класс – SCADA-комплексы, обеспечивавшие сбор телеметрии, визуализацию процессов и возможность дистанционного воздействия на оборудование. Их сильная сторона заключалась в предсказуемости и технологической дисциплине. Однако эти системы проектировались для сравнительно жестко структурированных объектов с ограниченным числом сценариев. Когда инфраструктура стала географически распределенной, насыщенной программными сервисами и тесно связанной с корпоративными ИТ-платформами, централизованная модель начала испытывать перегрузку – и вычислительную, и организационную.

Следующий этап был связан с развитием промышленных сетей, удаленной диагностики, интеграции с ERP– и MES-системами, а затем и с переходом к киберфизическим системам. В киберфизической

системе цифровой и физический уровни образуют непрерывный цикл: датчики фиксируют состояние среды, алгоритмы анализируют его, а исполнительные механизмы изменяют поведение объекта. Наблюдение, прогноз и регулирование уже невозможно рассматривать по отдельности. Если один из элементов этого цикла работает с задержкой или недостаточной точностью, снижается устойчивость всей системы.

Интеллектуальное управление в таком контексте следует трактовать как способность системы интерпретировать контекст, учитывать неопределенность, сопоставлять альтернативы и адаптировать стратегию действий без полного пересчета логики управления вручную. Впрочем, интеллектуальность не равна произвольности. Чем сложнее инфраструктура, тем выше цена неконтролируемой адаптации. Поэтому развитие идет не к полному отказу от классических регуляторов, а к гибридным схемам, где традиционные методы обеспечивают устойчивый каркас, а интеллектуальные модули расширяют возможности работы с шумными, неполными и быстро меняющимися данными.

Если обобщить эволюцию этих подходов, можно увидеть следующую траекторию: от централизованного наблюдения – к распределенному восприятию; от пороговой сигнализации – к вероятностной оценке состояния; от жестких правил – к адаптивному выбору действий. Но возникает закономерный вопрос: можно ли доверять системе, если решение вырабатывается моделью, обученной на прошлых данных, тогда как текущий режим уже изменился? Ответ, очевидно, не может быть однозначным. Поэтому современные архитектуры интеллектуального управления строятся как многослойные: нижний уровень отвечает за физическую безопасность и технологические инварианты, средний – за оптимизацию режимов, верхний – за прогнозирование, локализацию аномалий и оценку риска [3].

Методы интеллектуального контроля

Одним из наиболее характерных направлений является агентный мониторинг. Его логика состоит в распределении функций наблюдения между локальными программными агентами, работающими на узлах инфраструктуры или в непосредственной близости от них. Такие агенты не ограничиваются передачей сырых метрик в центральную систему. Они агрегируют события, фильтруют шум, выявляют локальные закономерности, а в ряде случаев обмениваются выводами друг с другом. Подобная организация особенно полезна там, где критична задержка передачи данных или невозможно постоянно централизованно обрабатывать весь поток телеметрии.

Второе крупное направление связано с использованием машинного обучения для обнаружения аномалий. Для распределенной инфраструктуры аномалия далеко не всегда выражается в виде выхода одного показателя за допустимый предел. Гораздо чаще отклонение проявляется как нетипичная комбинация признаков: рост задержек при умеренной загрузке процессора, нестандартная корреляция между датчиками, нетипичное распределение сетевого трафика, изменение временной структуры ошибок памяти. Пороговые правила фиксируют такие случаи плохо. Модели машинного обучения, напротив, способны выявлять не только экстремальные значения, но и изменения формы поведения системы.

Особенно важны методы, работающие с потоковыми данными. Они позволяют оценивать не просто отдельный снимок состояния, а динамику изменений. Это принципиально, потому что многие инциденты имеют фазу предвестников: сначала наблюдаются едва заметные рассогласования, затем нестабильность метрик, потом – каскадное ухудшение режима. Если контроль ориентирован только на момент аварии, он неизбежно опаздывает. Интеллектуальный мониторинг стремится обнаружить именно траекторию развития проблемы.

Третье направление – применение нечеткой логики. В инженерной практике большое число состояний невозможно корректно описать бинарно. Узел может быть не «исправным» и не «неисправным», а частично деградировавшим; сеть – не просто «свободной» или «перегруженной», а находящейся в состоянии нарастающего риска; контур охлаждения – работать на грани допустимого режима. Нечеткая логика позволяет выражать такие состояния через степени принадлежности и правила вида: если задержка высокая, а температура умеренно растет, то риск деградации оценивается как существенный. Такой подход особенно полезен там, где данные неполны или содержат шум [4].

Следовательно, интеллектуальный контроль отличается от классического не только набором алгоритмов, но и иной постановкой задачи. Он должен отвечать не на один вопрос – «что уже произошло?», – а сразу на несколько: «что формируется?», «как развивается это состояние?», «насколько уверенно можно судить о риске?» Без такого расширенного анализа последующее управление остается реактивным и слишком поздним.

Методы интеллектуального управления

Если интеллектуальный контроль направлен на распознавание состояния, то интеллектуальное управление сосредоточено на выборе действия, которое сохранит устойчивость инфраструктуры и

одновременно обеспечит приемлемую эффективность ее работы. Наиболее значимый класс методов здесь – предиктивное управление. Его идея заключается в том, что управляющее воздействие рассчитывается не только по текущей ошибке, но и по прогнозу поведения системы на некотором временном горизонте. Алгоритм рассматривает несколько сценариев, учитывает ограничения по ресурсам, безопасности и времени отклика, а затем выбирает воздействие, минимизирующее заданный критерий – например, суммарную перегрузку, энергопотребление или вероятность нарушения SLA.

В цифровых инфраструктурах предиктивное управление особенно эффективно при балансировке вычислительной нагрузки, регулировании потоков данных, распределении энергоресурсов и управлении системами охлаждения. Его главное преимущество состоит в упреждающем характере: корректирующее действие инициируется до того, как отклонение войдет в аварийную фазу. Однако эффективность такого подхода определяется качеством модели объекта. Если объект нелинеен, многосвязан и изменчив, то традиционная модель может оказаться слишком грубой. Именно поэтому все активнее применяются нейросетевые аппроксиматоры и гибридные модели.

Робастные регуляторы на основе нейросетей позволяют учитывать сложные взаимосвязи между параметрами, которые трудно задать аналитически. Но наиболее надежной на практике оказывается не схема полного замещения классического регулирования нейросетью, а комбинация методов. В такой архитектуре нейросеть может адаптировать параметры регулятора, предсказывать скрытые зависимости или оценивать недоступные напрямую состояния, тогда как устойчивость контура обеспечивается проверенными робастными механизмами. Иначе говоря, интеллектуальный компонент расширяет чувствительность системы, но не разрушает инженерную дисциплину.

Отдельного внимания заслуживают механизмы самоорганизации в mesh-сетях и иных распределенных коммуникационных средах. В подобных инфраструктурах единый центр управления либо оказывается слишком медленным, либо становится опасной точкой отказа. Поэтому узлы должны самостоятельно определять соседей, маршруты, приоритеты трафика, а иногда и режимы энергопотребления, согласуя локальные решения с общей устойчивостью сети. Самоорганизация здесь не означает хаоса. Напротив, речь идет о наборе локальных правил, благодаря которым сеть восстанавливает связность, перераспределяет нагрузку и сохраняет функциональность без обращения к центральному диспетчеру.

Представим ситуацию: промышленный комплекс использует сотни беспроводных датчиков и мобильных роботов, а часть базовых станций временно теряет питание. Если архитектура целиком зависит от одного управляющего узла, значительный сегмент системы фактически теряет связность. Если же реализованы механизмы самоорганизации, узлы перестраивают маршруты, ограничивают второстепенные передачи и сохраняют доставку критически важной телеметрии. В этом случае интеллектуальное управление проявляется не как абстрактная «умность», а как способность инфраструктуры удерживать рабочий режим в условиях частичной деградации.

Практический кейс: распределенное управление дата-центром

Рассмотрим реалистичный сценарий. Крупный дата-центр обслуживает облачную платформу с выраженной переменной нагрузкой: в дневные часы доминируют транзакционные сервисы, ночью – пакетная аналитика, в периоды маркетинговых акций наблюдаются резкие пики запросов. Проблема состоит не только в перераспределении вычислительных задач. Рост нагрузки ведет к увеличению тепловыделения, изменению эффективности охлаждения, скачкам энергопотребления и неравномерному износу оборудования. Пороговый мониторинг фиксирует проблему уже в тот момент, когда часть стоек вошла в опасный режим, а значит, пространство для мягкой коррекции сокращается.

Для решения задачи вводится трехуровневый интеллектуальный контур. На первом уровне работают агентные модули, размещенные в стойках и сетевых сегментах. Они анализируют сочетание температуры, энергопотребления, задержек доступа к хранилищу и активности виртуальных машин. На втором уровне потоковая модель обнаружения аномалий выделяет нетипичные траектории, характерные для формирования тепловых пятен и дисбаланса вычислительной нагрузки. На третьем уровне используется предиктивное управление, рассчитывающее, как перераспределить задачи, изменить параметры охлаждающих контуров и скорректировать сетевую маршрутизацию на горизонте ближайших минут.

Дополнительно применяется нечеткая логика оценки состояния. Зона дата-центра характеризуется не как «нормальная» или «аварийная», а, например, как находящаяся в режиме умеренного роста теплового риска. Это позволяет не ждать явного перегрева, а заранее инициировать мягкие воздействия: миграцию части сервисов, перенос фоновых задач, ограничение второстепенной активности, перераспределение мощности между стойками. Такой подход снижает вероятность того,

что система окажется перед жестким выбором между аварийным ограничением нагрузки и нарушением условий обслуживания клиентов.

Каков возможный результат? Если подобный контур внедрен корректно, можно ожидать сокращения числа критических тепловых эпизодов, снижения энергозатрат за счет более точного управления охлаждением и уменьшения количества инцидентов, влияющих на SLA. Но не менее важен организационный эффект. Операторы перестают работать в режиме непрерывного ручного реагирования и получают инструмент, который выводит уже осмысленную картину состояния: уровень риска, вероятное направление развития ситуации, набор рекомендуемых действий. Система не отменяет инженера. Она меняет характер его участия[5].

Этот пример показывает важную вещь: максимальный эффект возникает не от одного алгоритма, а от сочетания нескольких методов. Агентный мониторинг обеспечивает локальную автономию, модели машинного обучения дают раннее выявление сложных аномалий, предиктивное управление формирует рациональное действие, а нечеткая логика сглаживает переходы между режимами. По отдельности такие инструменты полезны. Вместе – образуют целостную архитектуру управления.

Барьеры внедрения и риски

Несмотря на преимущества, интеллектуальные контуры управления нельзя считать универсальным решением без оговорок. Первый барьер – вычислительная сложность. Чем выше частота обновления моделей и чем больше размерность телеметрии, тем труднее обеспечить принятие решений в режиме, близком к реальному времени. Алгоритм, запаздывший с реакцией, может быть математически элегантным, но практически бесполезным.

Второй барьер связан с объяснимостью. Инженерная эксплуатация плохо сочетается с формулой «модель так решила». Когда алгоритм меняет конфигурацию сети, ограничивает нагрузку или инициирует миграцию сервисов, специалист должен понимать хотя бы основные факторы, повлиявшие на решение. В противном случае уровень доверия к системе снижается, а объем ручных корректировок возрастает.

Третий риск касается кибербезопасности самих интеллектуальных контроллеров. Если злоумышленник способен исказить телеметрию, вмешаться в контур обновления модели или провести атаку на данные обучения, интеллектуальная система становится не защитным механизмом, а дополнительной поверхностью атаки. Впрочем, именно поэтому вопросы защищенности моделей, каналов передачи параметров, процедур переобучения и верификации данных должны рассматриваться как часть архитектуры, а не как внешнее дополнение.

Заключение

Интеллектуальный контроль и управление в цифровых инфраструктурах представляют собой закономерный ответ на усложнение самих объектов управления. Эти объекты больше не вписываются в схему, где центр наблюдает, анализирует и командует, а периферия только исполняет. Они распределены, динамичны, насыщены данными и подвержены каскадным эффектам. Следовательно, эффективная инфраструктура должна сочетать локальную автономию, глобальную координацию, прогнозирование и устойчивость к неопределенности.

Наиболее перспективными выглядят гибридные архитектуры, объединяющие агентный мониторинг, машинное обучение, нечеткую логику и предиктивное управление. Их сила заключается не в декларативной «интеллектуальности», а в способности адаптироваться к неоднородной среде, не разрушая при этом инженерные ограничения и требования безопасности. Будущее этой области, вероятно, связано с развитием распределенных моделей обучения, более интерпретируемых алгоритмов и защищенных контуров совместной аналитики. И здесь возникает новая перспектива: инфраструктура, которая не просто управляется автоматически, а учится коллективно, сохраняя автономию отдельных узлов и устойчивость всей системы.

Список литературы:

1. Полтавцева М.А. Адаптивный мониторинг информационной безопасности: монография. Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2021. 128 с. DOI: 10.18720/SPBPU/2/i21-211.
2. Полтавцева М.А. Обработка онтологий при атрибутивном контроле доступа в киберфизических системах // Программные продукты и системы. 2020. Т. 33. № 4. С. 114-123. DOI: 10.15827/0236-235X.133.114-123.
3. Корнюшко В.Ф., Кузнецов А.С., Садеков Л.В. Информационное и программное обеспечение гибридной интеллектуальной системы при управлении технологическими процессами // Программные продукты и системы. 2021. Т. 34. № 4. С. 629-638. DOI: 10.15827/0236-235X.136.629-638.
4. Игнатъев В.В., Соловьев В.В., Белоглазов Д.А. Анализ гибридных регуляторов в моделях управления техническими объектами в изменяющихся условиях // Программные продукты и системы. 2021. Т. 34. № 4. С. 555-563. DOI: 10.15827/0236-235X.136.555-563.
5. Виноградов Г.П. Алгоритмы управления процессами в реагирующих сенсорных сетях для задач защиты объектов // Программные продукты и системы. 2022. Т. 35. № 2. С. 229-239. DOI: 10.15827/0236-235X.138.229-239.

1.3. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

МОДУЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПАССИВНОЙ ЗАЩИТЫ БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ ОТ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Стрельцов Роман Вячеславович

канд. пед. наук, доц. \ кафедры конструкции
автобронетанковой техники
Пермского военного института
Войск Национальной Гвардии РФ,
РФ, г. Пермь

Мирзаев Исфандиёр Садыкович

курсант 5 курса Факультета
(Технического Обеспечения),
Пермского военного института
Войск Национальной Гвардии РФ,
РФ, г. Пермь

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к созданию модульных систем пассивной защиты бронетанковой техники от беспилотных летательных аппаратов. На основе анализа опыта боевых действий проведена классификация существующих решений, выявлены их преимущества и недостатки. Особое внимание уделено принципам унификации и модульного построения защитных комплексов, позволяющим обеспечить технологичность производства, ремонтпригодность в полевых условиях и адаптивность к изменяющимся угрозам. Представлены требования к конструктивным элементам модульной защиты, обоснован выбор геометрических параметров и материалов. Показано, что применение унифицированных модульных конструкций на основе стального проката позволяет достичь оптимального соотношения стоимости, защитных свойств и эксплуатационной надежности.

Abstract. The article examines modern approaches to the creation of modular passive protection systems for armored vehicles against unmanned aerial vehicles. Based on the analysis of combat experience, existing solutions are classified, their advantages and disadvantages are identified. Special

attention is paid to the principles of unification and modular construction of protective complexes, which ensure manufacturability, field maintainability and adaptability to changing threats. Requirements for structural elements of modular protection are presented, the choice of geometric parameters and materials is justified. It is shown that the use of unified modular structures based on steel rolled products allows achieving an optimal balance of cost, protective properties and operational reliability.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, модульная защита, бронетанковая техника, унификация, пассивная защита, противокумулятивные экраны, технологичность, ремонтпригодность.

Keywords: unmanned aerial vehicles, modular protection, armored vehicles, unification, passive protection, anti-cumulative screens, manufacturability, maintainability.

Современные вооруженные конфликты характеризуются массовым применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которые стали одним из основных средств поражения бронетанковой техники. Опыт специальной военной операции показывает, что даже хорошо защищенные танки и боевые машины пехоты уязвимы для атак с верхней полусферы, в борта и кормовые проекции, где штатное бронирование недостаточно. Особую опасность представляют FPV-дроны и барражирующие боеприпасы, стоимость которых несопоставима с ущербом, наносимым дорогостоящей технике.

В этих условиях особую актуальность приобретает разработка эффективных, технологичных и экономически обоснованных средств пассивной защиты, способных к быстрому массовому внедрению. Наиболее перспективным направлением признано создание унифицированных модульных защитных комплексов, которые, в отличие от кустарных решений, обладают требуемой надежностью, ремонтпригодностью и адаптивностью.

Анализ применяемых в войсках средств пассивной защиты позволяет выделить несколько основных типов. Наиболее массовыми стали решетчатые экраны, получившие неофициальное название «мангалы» или «рациональные копыта». Их принцип действия основан на деформации или преждевременной детонации кумулятивной струи при взаимодействии с ячейками сварной конструкции из стального проката. Ключевыми преимуществами таких решений являются крайне низкая стоимость, доступность материалов и возможность изготовления непосредственно в ремонтных подразделениях.

Однако практика эксплуатации выявила существенные недостатки кустарных решетчатых экранов. Во-первых, их эффективность

ограничена узким спектром угроз: они практически бесполезны против осколочно-фугасных боеприпасов и кинетических поражающих элементов. Во-вторых, отсутствие стандартизации приводит к использованию неподтвержденных марок стали, что влечет непредсказуемость защитных свойств. В-третьих, такие конструкции, как правило, неремонтопригодны: после первого же попадания требуется полная замена поврежденного фрагмента. Кроме того, кустарная установка часто нарушает балансировку техники и создает дополнительные нагрузки на ходовую часть.

Ответом на выявленные недостатки стала концепция модульных унифицированных защитных систем. Международный опыт свидетельствует о растущем интересе к данному направлению. В Китае разработана патентованная модульная конструкция из двухслойных композитных решеток, устанавливаемых на регламентированном расстоянии от брони: с бортов 50–60 см, сверху – около 10 см. Примечательно, что конструкция допускает установку дополнительных бронеплит, включая керамические и элементы динамической защиты. В России разработана система «Одуванчик», представляющая собой модульные конструкции из стеклопластика, сочетающие легкость, гибкость и прочность, что позволяет технике проходить в условиях плотной застройки без риска повреждения защиты.

Зарубежные исследования также подтверждают эффективность модульного подхода. В работах Комарова А.А. с соавторами представлена методология расчета защитных сетчатых ограждений, позволяющая на этапе проектирования определить необходимые прочностные характеристики конструкций с учетом потенциальной детонации боевых частей БПЛА. Экспериментальная верификация математических моделей показала расхождение в пределах 5–8 %, что подтверждает надежность прогнозирования поведения защитных систем.

Разработка эффективной модульной защиты базируется на нескольких ключевых принципах. Первым и основополагающим является принцип унификации, предполагающий выделение «жесткого стандарта сопряжения» и «управляемо-изменяемых параметров». Под жестким стандартом понимаются неизменяемые характеристики, обеспечивающие совместимость: геометрия базового модуля, привязка функциональных зон крепления, единый тип крепежа и типовые узлы сопряжения. К управляемо-изменяемым параметрам относятся высота объемного элемента, материал и тип заполнения, конструкция внутренних усилений.

В качестве базовой геометрии модуля целесообразно использование равностороннего треугольника, обладающего геометрической устойчивостью и позволяющего формировать покрытия сложной

формы комбинацией одинаковых элементов. При стороне 500 мм высота модуля может варьироваться от 20 до 150 мм в зависимости от решаемых задач. Для защиты от кумулятивных боеприпасов достаточной признана высота 60 мм, обеспечивающая необходимый зазор для срабатывания боевой части на безопасном удалении от брони.

Модульная кратность размеров (шаг 125 мм для расположения крепежных отверстий) обеспечивает собираемость конструкции и технологичность производства. Единый тип крепежа (M10) с технологическим зазором 3 мм позволяет компенсировать малые отклонения геометрии при сохранении жесткости соединения в условиях эксплуатационных вибраций и ударных нагрузок.

Выбор материала определяется компромиссом между стоимостью, прочностными характеристиками и технологичностью. Наиболее рациональным представляется использование стали Ст45 толщиной 4 мм, обеспечивающей необходимую жесткость при сохранении выполнимости операций резки, гибки и сварки. Более легкие материалы (алюминиевые сплавы, композиты, стеклопластик) перспективны, но требуют дополнительных исследований их поведения при ударных нагрузках.

Экономическая эффективность модульных защитных систем оценивается на основе модели совокупной стоимости владения (Life Cycle Cost, LCC), учитывающей затраты на всех этапах жизненного цикла: разработку, производство, интеграцию, эксплуатацию, ремонт и утилизацию.

Расчеты показывают, что при сопоставимой с кустарными решетками стоимости материалов (стальной прокат) модульные унифицированные комплексы обеспечивают качественно иной уровень эксплуатационных свойств. Основные преимущества заключаются в следующем:

1. Ремонтопригодность. Модульная конструкция позволяет осуществлять локальную замену поврежденных элементов в полевых условиях без демонтажа всего комплекта и без применения сварки. Время восстановления исчисляется минутами, а не часами.

2. Логистическая эффективность. Вместо множества уникальных деталей номенклатура запасных частей ограничивается типовым рядом модулей и соединительных элементов, что упрощает снабжение и хранение.

3. Масштабируемость. Производство может быть развернуто на любом предприятии, имеющем оборудование для раскроя и сварки металла. Эффект масштаба при серийном производстве обеспечивает снижение себестоимости на 25–40 % при увеличении заказа до нескольких тысяч комплектов.

4. Адаптивность. Возможность изменения высоты модуля и типа заполнения позволяет настраивать защитные свойства под конкретные тактические задачи без изменения интерфейсов крепления.

Эксплуатационная надежность модульных систем подтверждается результатами конечно-элементного анализа. Максимальные эквивалентные напряжения в наиболее нагруженных элементах конструкции не превышают 19 МПа, что при использовании конструкционной стали обеспечивает запас прочности более 12. Величина максимальных перемещений (менее 0,53 мм) свидетельствует о достаточной жесткости сборки.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что модульные унифицированные системы пассивной защиты представляют собой наиболее перспективное направление повышения защищенности бронетанковой техники от угроз со стороны беспилотных летательных аппаратов. В отличие от стихийно сложившихся кустарных решений, такие системы базируются на инженерной методологии, стандартизации интерфейсов и учете требований полного жизненного цикла.

Ключевыми преимуществами предлагаемого подхода являются: технологичность массового производства, ремонтпригодность в полевых условиях, логистическая эффективность и адаптивность к изменяющимся угрозам. Экономические расчеты подтверждают целесообразность внедрения унифицированных модульных комплексов при сопоставимой с примитивными решениями стоимости.

Дальнейшее развитие данного направления должно быть направлено на расширение номенклатуры применяемых материалов (композиты, керамика, стеклопластик), оптимизацию массогабаритных характеристик и интеграцию модульных защитных систем в единый контур активной и пассивной защиты объектов вооружения и военной техники.

Список литературы:

1. В Китае предложили новую систему защиты от дронов для БМП, которая напоминает разработки украинских инженеров – СМИ [Электронный ресурс] // NV. – 2025. – Режим доступа: <https://nv.ua/world/countries/modulnaya-zashchita-bronetechniki-kitaya-novye-kompozitnye-reshetki-ot-atak-dronov-50543316.html>
2. Komarov A.A., Gromov N.V., Korolchenko A.D. The Use of Mesh Screens to Protect Industrial Facilities from Unmanned Aerial Vehicles // Bezopasnost Truda v Promyshlennosti. – 2025. – № 1. – pp. 76-82. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-1-76-82
3. Davidson J., Drewes P., Graham R., Haider E., Phillips M. MOSA C2 for Autonomous Vehicles to Counter UAS, SWARM, and Ground-Based Robotic Threats // SAE Technical Paper. – 2025. – № 2025-01-0435

4. Шевелев Д.Н., Росляков А.В., Смелов Н.И., Задорина Н.А., Ломанов А.Н. Разработка комплекса защиты объектов критической инфраструктуры от БПЛА // Успехи современной радиоэлектроники. – 2025. – Т. 79. – № 10. – С. 60–69. DOI: 10.18127/j20700784-202510-08
5. Melnikova E.S., Gabova V.V., Churakov A.A., Nedozhagina I.V. Protective cable-stayed structures: effectiveness and prospects of countering UAVs // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 7. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2025/10240>
6. Watling J., Bronk J. Protecting the Force from Uncrewed Aerial Systems // RUSI Occasional Paper. – 2024. – 48 p.
7. Армия США испытывает модули защиты от БПЛА для танков Abrams и БМП Bradley [Электронный ресурс] // Overclockers.ru. – 2025. – Режим доступа: <https://overclockers.ru/blog/Nacvark/show/242306/Armiya-SShA-ispytyvaet-moduli-zaschity-ot-BPLA-dlya-tankov-Abrams-i-BMP-Bradley>
8. Model-Based Systems Engineering Design for a Counter-UAS System for Infantry Platoons // IEEE Xplore. – 2025. – DOI: 10.1109/11014818
9. Россияне разработали новую систему защиты бронетехники от дронов: с чем уже вскоре могут столкнуться ВСУ [Электронный ресурс] // Зеркало недели. – 2025. – Режим доступа: <https://zn.ua/war/rossijane-razrabotali-novuju-sistemu-zashchity-bronetekhniki-ot-dronov-s-chem-uzhe-vskore-mohut-stolknutsja-vsuh.html>
10. MultiObjective optimization of the design of a protective components to chassis protection module for unmanned armored vehicles // Scientific Reports. – 2025. – № 15. – 91632. DOI: 10.1038/s41598-025-91632-6
11. Белоусов И.И., Дюнов В.А., Стрельцов Р.В. Конструкция бронетанковой техники: учебник. – Пермь: ПВИ ВНИГ РФ, 2021. – 380 с.
12. Тарасов А.Д. Защита бронетанковой техники от современных средств поражения. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – 256 с.
13. Алексеев С.П. Анализ повреждений бронетехники при атаках FPV-дронов // Вооружение. Политика. Конверсия. – 2024. – № 2. – С. 22–29.
14. Коротков А.В., Смирнов И.Л. Анализ жизненного цикла средств пассивной защиты военной техники // Вопросы оборонной техники. Серия 16. – 2024. – № 4. – С. 15–23.

1.4. РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

ЭФФЕКТ КАБАНОВА, КАК ОСНОВА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ЗАГОРИЗОНТНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ

Зайцев Ефим Николаевич

*курсант,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени Маршала Советского
Союза Г. К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

Секриеру Даниил Михайлович

*курсант,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени Маршала Советского
Союза Г. К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

THE KABANOV EFFECT AS THE BASIS FOR BUILDING BEYOND-THE-HORIZON DETECTION SYSTEMS

Zaitsev Yefim Nikolaevich

*Cadet,
Military Academy of Aerospace Defense
named after Marshal of the Soviet
Union G. K. Zhukov,
Russia, Tver*

Secrieru Daniil Mikhailovich

*Cadet,
Military Academy of Aerospace Defense
named after Marshal of the Soviet
Union G. K. Zhukov,
Russia, Tver*

Аннотация. В работе анализируются физические механизмы дальнего коротковолнового рассеяния, обусловленные взаимодействием ионосферного отражения и диффузного рассеяния на рельефе местности. Показано, что использование эффекта позволяет реализовать принцип загоризонтной радиолокации: обнаружение воздушных и баллистических целей на дальностях до 3000 км и более за пределами прямой видимости

Abstract. This work analyzes the physical mechanisms of long-range shortwave scattering, governed by the interaction between ionospheric reflection and diffuse scattering from terrain features. It is demonstrated that utilizing this effect enables the implementation of over-the-horizon radar principles: specifically, the detection of aerial and ballistic targets at ranges of up to 3000 km and beyond, exceeding the line of sight.

Ключевые слова: эффект Кабанова, ионосфера, радиоволны, частота.

Keywords: Kabanov's effect, ionosphere, radio waves, frequency.

«Радиоволны, отраженные от ионосферы, при падении на землю частично рассеиваются ее поверхностью, при этом некоторая доля рассеянной энергии возвращается к источнику излучения, где и может быть зарегистрирована.» [1] – эта фраза является словесным выражением формулы, выведенной в своих научных трудах советским учёным-радиотехником, доктором технических наук, профессором НЭТИ (Новосибирского электротехнического института) Н.И. Кабановым (далее Кабановым). Данный вывод стал результатом исследования метеоритов во время метеорного дождя «Дракониды» 9 и 10 октября 1946 года. Для этого сотрудники Астрономического института им. Штернберга обратились к Кабанову с предложением новой методики – применением радиолокационной станции.

После изобретения радио и применения радиоволн с целью обнаружения целей долгое время распространенным являлось суждение, что для осуществления связи и эффективного распространения волн наиболее практичным будут волны: для связи – от нескольких сотен метров (около 1МГц), для станций радиолокации – до десятков метров (волны ВЧ). Во втором случае дальность их распространения составляла не более 200 км. Применение волн большей частоты считалось неэффективным из-за больших потерь в мощности.

Это озадачило Кабанова и требовало применения нестандартных способов обнаружения целей. В ходе исследования было выявлено, что ионизированный след в атмосфере, оставшийся после падения метеоров

и их сгорания в верхних слоях атмосферы, растягивался на многие километры и мог быть обнаружен не только на расстоянии нескольких сотен, но и, в некоторых случаях, около тысячи километров. Энергия радиоволны, поступающая с антенны радиолокационной станции, при попадании на «ионизированный хвост», оставшийся после пролета метеора, частично рассеивалась и после отражения возвращалась и фиксировалась приемниками станции, регистрируя при этом получение сигнала. Исследование данного явления навело Кабанова на мысль о том, что в таком случае не только ионы, но и поверхность Земли отражает сигнал, перенаправляя его часть обратно на принимающее устройство. Так, открытие нового свойства стало не только важным шагом для обнаружения целей на больших расстояниях, но и основополагающим принципом построения отечественных комплексов систем загоризонтного обнаружения целей (для фиксации запуска межконтинентальных баллистических ракет с территории противника, массивованного и одиночного взлета летательных аппаратов в зоне обнаружения).

Сущность эффекта Кабанова

Теперь детальнее рассмотрим сущность эффекта Кабанова. Волны, обладающие длиной $\lambda = 10-100$ м, при распространении, достигая ионосферы, отражаются в ней и возвращаются обратно к Земле. Количество волн, рассеиваемых атмосферой, зависит от частоты излучения. При переходе от средних волн ($\lambda = 100-1000$ м) к коротким волнам ($\lambda = 10-100$ м), несмотря на двукратное пересечение ионосферы, потери энергии в существенно уменьшаются, но при этом происходит переотражение большей части волн, а, следовательно, и меньшие потери энергии электромагнитных волн. Однако в этом случае также увеличивается потери при попадании на Земою при последующих последовательных «скачках» распространяющегося потока. Именно поэтому, связь необходимо осуществлять не поверхностными, а пространственными волнами, при работе в коротковолновом диапазоне. Преимуществом при этом значительно: в первом случае дальность действия ограничена несколькими сотнями километров, во втором – около нескольких тысяч километров.

При применении эффекта Кабанова на практике имеет место ряд особенностей, которые учитываются при работе. Во-первых, имеется так называемая «Зона молчания» («Зона молчания» – это область пространства, ограниченная максимальной дальностью распространения поверхностной волны и минимальной дальностью первого скачка пространственной волны, где обнаружение целей невозможно вследствие экспоненциального затухания поверхностной волны из-за потерь

энергии в подстилающей поверхности и отсутствия условий для возвращения пространственной волны на землю, поскольку для данных расстояний угол излучения превышает критическое значение, необходимое для отражения от ионосферы.). Во-вторых, по мере увеличения частоты электромагнитного колебания (увеличения его длины волны) преломление волн в ионосфере также уменьшается, в связи с чем радиоволны могут пройти сквозь нее, при этом не отразившись на Землю[2]. В связи с этим, частота выбирается так, чтобы соответствовать требуемой зоне обнаружения, с учетом угла антенны, которая излучает волны.

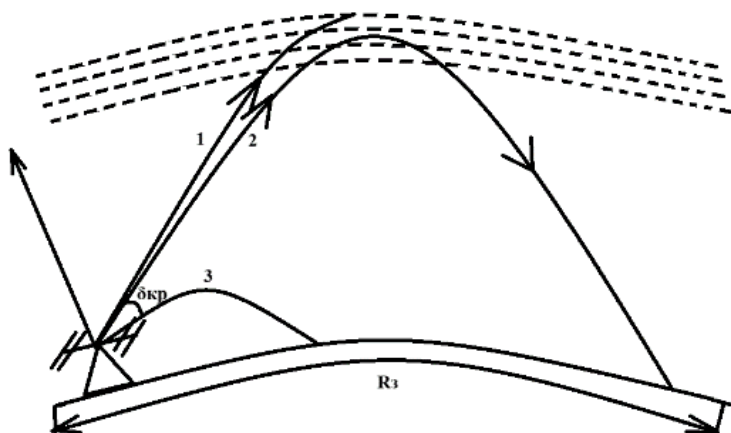


Рисунок 1. Рассеивание электромагнитных волн в ионизированном слое атмосферы

Во избежание подобных ситуаций необходимо, чтобы рабочая длина волны превышала критическую длину волны слоя F2 ($\lambda_{кр} = 23 \div 45$ м), либо, если используются более короткие волны, угол возвышения луча должен оставаться ниже критического угла $\delta_{кр}$. В подобной обстановке ($\lambda_{кр} < 23 \div 45$ м) дистанция связи пространственными лучами не может сокращаться ниже конкретного значения R_z . Учитывая, что поверхностная волна 3 быстро затухает даже вблизи передатчика, формируется зона молчания. С уменьшением минимально допустимой длины волны (и ростом максимально допустимой частоты) снижается критический угол возвышения луча $\delta_{кр}$, что ведет к увеличению дистанции

R_3 от излучателя до ближнего отраженного луча. Так, летним полуднем при $\lambda_{\text{мин}} = 40$ м радиус зоны молчания R_3 составляет 250 км, при $\lambda_{\text{мин}} = 30$ м $R_3 = 750$ км, при $\lambda_{\text{мин}} = 20$ м $R_3 = 1500$ км и при $\lambda_{\text{мин}} = 15$ м $R_3 = 2000$ км. Поскольку ночью и в зимний период ионизация слоя падает, радиус R_3 в эти промежутки времени превышает показатели лета и дня. Следующая характеристика распространения волн связана с наличием оптимальных частот связи f для различных суток и сезонов. Понятно, что данная частота не должна превышать значение ($f_{\text{макс}}$), при котором на указанном удалении от передатчика появляется зона молчания. Однако снижение f относительно $f_{\text{макс}}$ влечет за собой увеличение энергопотерь в ионосфере, в частности в слое F2. Таким образом, наилучшие частоты связи приближены к $f_{\text{макс}}$, а длины волн $\lambda -$ к $\lambda_{\text{мин}}$. Для страховки от сбоя связи, вызванных случайными колебаниями ионизации, устанавливают $f \approx 0,85f_{\text{макс}}$ ($\lambda \approx \lambda_{\text{мин}}/0,85$). Днем целесообразно использовать самые короткие волны с $\lambda = 10-25$ м. В ночные часы их применение исключено, так как плотность ионизации слоя существенно ниже дневной, что делает невозможным отражение волн этого диапазона на Землю. Ночью рекомендуется применять волны с $\lambda = 35-100$ м; несмотря на меньшую частоту по сравнению с дневными, потери в слое E растут незначительно, ведь плотность ионизации этого и других слоев уменьшилась. При усредненной освещенности наилучшими считаются волны с $\lambda = 25-35$ м. Третий нюанс состоит в том, что в коротковолновом диапазоне наиболее ярко выражены факторы, дестабилизирующие связь. В первую очередь это дальние замирания (фединги). Их отличие от ближнего фединга в том, что на коротких волнах интерферируют обычно две пространственные волны (в отличие от поверхностной и пространственной на средних волнах), из-за чего замирания результирующих полей становятся глубже и чаще. Причин для фединга тут также больше: в ионосфере варьируются не только фаза, но и поляризация волн; в приемной антенне на коротких волнах может происходить интерференция более двух волн от одной станции; при переходе от средних волн к короткому идентичному изменению разности хода интерферирующих волн провоцирует изменение фазового сдвига между ними в десятки раз сильнее. Для коротковолнового диапазона характерны также ближнее и дальнее эхо. Под радиоэхо понимается повтор сигнала вследствие последовательного приема волн, отраженных от ионосферы один или несколько раз. Ближнее эхо возникает благодаря волнам, идущим от передающей антенны к приемной кратчайшим путем, а в формировании дальнего эха участвуют волны, отразившиеся от ионосферы единожды, либо обогнувшие Землю по длинной траектории. Вследствие низких потерь энергии при распространении волн между

ионосферой и Землей вторичная волна может быть достаточно интенсивной и существенно ухудшить качество радиосвязи. Это приобретает практическую значимость при приеме коротких сигналов (к примеру, фототелеграфных).

Список литературы:

1. Кабанов Н. И. ЭФФЕКТ КАБАНОВА / Диплом № 1 на открытие. Приоритет от 15.03.1947 г. /– Зарегистрировано в Гос. реестре открытий СССР 26.06.1957 г.
2. Дымович Н. Д. Ионосфера и ее исследование. – Москва-Ленинград: Издательство «Энергия». – Выпуск 513. -1964. – 40 с.
3. Радиотехнические системы: учебник для вузов / под ред. Ю.М.Казаринова – 1-е изд. – Москва: Сов. радио, 1968. – 496 с.

1.5. ТРАНСПОРТ

РАЗРАБОТКА БЕСПИЛОТНОГО НАЗЕМНОГО АППАРАТА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Зайцев Ефим Николаевич

*курсант,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени Маршала Советского
Союза Г. К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

Югов Роман Андреевич

*курсант,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени Маршала Советского
Союза Г. К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

Карпов Алексей Павлович

*гражданский персонал,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени Маршала Советского
Союза Г. К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

DESIGNING OF GROUND UNMANNED VEHICLE BASED ON AIR CUSHION

Zaitsev Yefim Nikolaevich

*Cadet,
Military Academy of Aerospace Defense
named after Marshal of the Soviet
Union G. K. Zhukov,
Russia, Tver*

Yugov Roman Andreevich

*Cadet,
Military Academy of Aerospace Defense
named after Marshal of the Soviet Union
G. K. Zhukov,
Russia, Tver*

Karpov Alexey Pavlovich

*Civil personnel,
Military Academy of Aerospace Defense
named after Marshal of the Soviet Union
G. K. Zhukov,
Russia, Tver*

Аннотация. Проанализированы особенности конструирования беспилотных аппаратов в зоне проведения специальной военной операции. С учетом актуальных проблем, параметров было предложено использование нового решения в данной области. Создана модель беспилотного наземного аппарата на воздушной подушке.

Abstract. This study analyzes the design features of unmanned vehicles within the zone of a special military operation. Considering current challenges and specific parameters, a novel solution for this domain is proposed. A model of an unmanned ground air-cushion vehicle has been developed.

Ключевые слова: беспилотный аппарат, воздушная подушка, давление.

Keywords: unmanned vehicle, air cushion, pressure.

Современные вооружённые конфликты всё чаще характеризуются стремлением к минимизации потерь личного состава, повышению эффективности разведывательно-ударных операций и обеспечению тактического превосходства за счёт технологического преимущества. В этих условиях особую стратегическую значимость приобретают беспилотные системы, позволяющие выполнять широкий спектр боевых и вспомогательных задач без прямого участия человека на передовой.

В условиях активного развития систем РЭБ и оптической разведки, а также повсеместностью распространения применяемых беспилотных систем, противник все чаще имеет возможность определить местонахождение операторов БПЛА. Это ставит под угрозу как жизни личного состава, так и выполнение боевой задачи подразделениями различных уровней. Результатом становится применение БПЛА с дальнего

расстояния, что ограничивает эффективность их применения: уменьшает радиус их применения, или управление дронами операторами в условиях, с вероятностью быть ликвидированным средствами поражения противника. Данная проблема является одним из основных препятствий для специалистов по управлению БПЛА, чем и определяется актуальность данной темы.

Выделяют четыре основных типа беспилотных систем, активно применяемых в современных вооружённых столкновениях и перспективные направления данной техники: воздушные (БПЛА), наземные (БПНА), надводные (БПНВА), подводные (БППА).

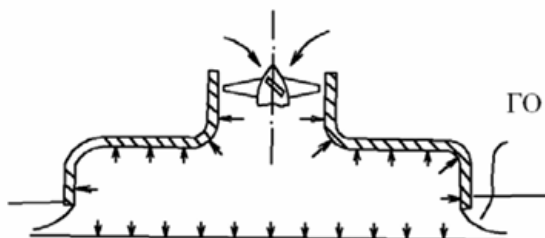
Выбор остановлен на наземном типе, поскольку, обладая возможностью нести модульное вооружение и оборудование, а также работать в условиях активного противодействия – как огневого, так и электронного; выполнение роли средства обеспечения других аппаратов – их развитие становится одним из ключевых направлений модернизации вооружённых сил, определяя новые тактические подходы и меняя характер ведения боевых действий.

Колесная основа увеличивает скорость передвижения беспилотного аппарата, однако не обеспечивает необходимую проходимость: дрон сможет эффективно передвигаться по дорогам, шоссе, некоторым грунтовым дорогам, что значительно сузит оперативные возможности аппарата. Гусеничная основа обладает значительно большей проходимостью (возможностью преодолевать пересеченную местность, сложный рельеф поля боя), а также большей устойчивостью к переворотам при преодолении преград. Однако данные преимущества равновесны недостаткам конструкции: высокому весу катков и гусениц, высокое энергопотребление такой двигательной системы, а также низкой скорости передвижения БпА. Учитывая преимущества и недостатки вышеуказанных вариантов, было принято решение реализовать принципиально новое для данной сферы решение: использовать воздушную подушку. Прототипом послужили существовавшие до этого малые десантные корабли, построенные на данной основе. Воздушная подушка позволяет развивать скорость, большую, чем у гусеничного хода, поскольку плывет над поверхностью, она способна, в отличие от других вариантов, преодолевать водные препятствия, и, что не менее важно, пробираться над минно-взрывными заграждениями.

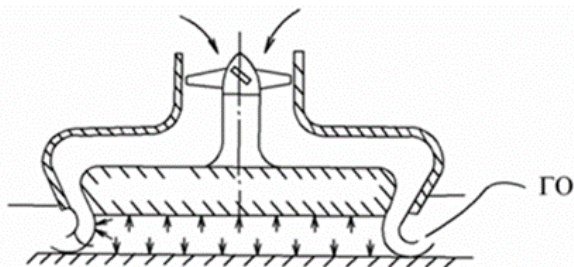
Судно на воздушной подушке работает по принципу создания области высокого давления между днищем судна и поверхностью – водой, землёй, льдом и т.д. Это позволяет судну парить над поверхностью, значительно снижая сопротивление движению и обеспечивая высокую проходимость. С помощью вентиляторов или компрессоров воздух

нагнетается под корпус судна. По периметру корпуса устанавливаются гибкие юбки, обычно из прочной резины или синтетических материалов, которые удерживают воздух под судном и позволяют сохранять подушку даже на неровной поверхности. Когда давление под корпусом становится достаточным, оно поднимает судно над поверхностью на высоту от нескольких сантиметров до метра, в зависимости от конструкции. В этом состоянии судно не касается поверхности, что резко снижает, и, практически убирает трение. Для перемещения используются отдельные движители – это могут быть воздушные винты, водные винты или реактивные двигатели. Направление движения регулируется с помощью рулей направления или изменением угла наклона движителей. Некоторые модели используют аэродинамическое крыло для дополнительной подъёмной силы на высоких скоростях (по материалам источника [2]).

Рассмотрим различные виды воздушных подушек по способу создания давления под днищем. Камерная схема формирования воздушной подушки применяется на судах на воздушной подушке и характеризуется подачей воздуха непосредственно в полость подушки через шахты или каналы с большой площадью сечения, за частую напрямую от вентилятора (рис. 1а). Благодаря значительному поперечному сечению этих каналов, воздух поступает в подушку с относительно низкой скоростью, что минимизирует реактивные силы и исключает их влияние на стабильность судна. В данном типе подъёмная сила создаётся исключительно за счёт статического давления воздуха, удерживаемого внутри замкнутой или полузамкнутой полости под днищем корпуса. Является самым простым, однако весьма энергозатратным способом, поскольку воздух свободно покидает воздушную подушку, из-за чего происходит ее проседание, потеря стабилизации.



а) камерный



б) сопловый

Рисунок 1. Типы воздушной подушки

В сопловой системе юбка представляет собой эластичную манжету без внутренних перегородок (рис. 1б). Воздух подаётся под корпус судна и выходит наружу через узкую щель (сопло) между нижним краем юбки и поверхностью. Давление поддерживается за счёт постоянного притока воздуха, компенсирующего его утечку через это сопло. Такая конструкция проще, легче и дешевле в производстве, обеспечивает плавный ход на ровных поверхностях. Однако при движении по сильно пересечённой местности или при резких кренах сопловая юбка значительно теряет давление из-за широкого сопла, что требует использования более мощных двигателей, приводит к большим энергозатратам (по материалам источника [1]).

Устройство беспилотного наземного аппарата на воздушной подушке

В реализованном устройстве (рис. 2) использован камерный тип воздушной подушки, что обусловлено необходимостью низкого веса конечной конструкции, сохранения малых габаритов. Учитывая специфику выполняемых задач, а также ограничения по массогабаритным составляющим, выбор пал на пенопласт, который обладает такими важными качествами как: устойчивость к воздействию влаги, неподверженность гниению, легкий вес, простота обработки.



Рисунок 2. Модель беспилотного наземного аппарата

Элементы крепления моторов, вертикальная стойка для направляющего винта, купола нагнетающих винтов выполнены из пластика по технологии 3D печати на принтере, что значительно повышает точность при изготовлении, снижает себестоимость, позволяет изготовить прочные и легкие изделия. Имеется поддержка следующих датчиков: акселерометр/гироскоп (6 степеней свободы), высокоточный барометр, GPS-модуль. Беспилотный аппарат способен управляться с помощью оптоволоконного кабеля.

Платформа имеет гладкие углы для уменьшения воздушного сопротивления и два отверстия для монтажа двух двигателей.

Двигатели обладают высокой мощностью (490 Вт), тягу более чем 1000 грамм, оснащены валом из нержавеющей стали, бескислородную медную обмотку для лучшей проводимости. Их преимущество заключается в надежности, хорошей теплоотдаче, оптимальном соотношении мощности и веса и универсальности применения в различных типах аппаратов.

Аккумулятор CNHL Black: обладает емкостью в 3000 мАч при компактном размере и небольшой массе в 266 грамм.

Полетный контроллер Ardupilot: благодаря своей многофункциональности, надежности и гибкости является отличным выбором для данного БПНА, так как позволяет настроить независимую работу и привязать к пульту управления три винта: направляющего и двух нагнетающих воздух. Помимо этого, аппарат сможет функционировать в одном из двух режимов: полуавтономном режиме и ручном режиме. Основными функциями являются: стабилизация полета; удержание высоты; передвижение к позиции с помощью GPS и камеры; автоматическая посадка.

Имеющаяся модель прошла первичные испытания, в ходе которых были выявлены ошибки при расчете конструкции беспилотного аппарата, в связи с этим, было принято решение о создании новой конструкции, имеющей большую грузоподъемность, доработанные механизмы поворота и управления аппаратом, на уровне расчетов уменьшен масштаб проблемы низкой стабилизации дрона при проезде над воронками, глубокими ямами, за счет создания резервной камеры с воздухом для компенсации потери давления в подушке.

Список литературы:

1. Не устаревшие морально: потенциал десантных кораблей [Электронный ресурс]. – URL: topwar.ru (дата обращения: 18.01.2026)
2. Аппарат на воздушной подушке – Принцип работы [Электронный ресурс]. – URL: christyhovercraft.ru (дата обращения: 13.01.2026).

1.6. ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РАБОЧЕГО ТЕЛА В ЦИКЛЕ СО СМЕШАННЫМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ С ПОМОЩЬЮ РЕГРЕССИИ НА ПРИВЕДЁННЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ

Стефановский Алексей Борисович

канд. техн. наук, доц.,

Мелитопольский государственный университет,

РФ, г. Мелитополь

ESTIMATION OF MAXIMUM TEMPERATURE OF THE WORKING FLUID IN A CYCLE WITH MIXED HEAT SUPPLY USING REGRESSION ON THE REDUCED HEAT UTILIZATION FACTOR

Stefanovsky Alexey Borisovich

Candidate of Science, Associate Professor,

Melitopol State University,

Russia, Melitopol

Аннотация. При помощи базы данных о модельных и рабочих циклах транспортных дизелей выявлена и описана регрессия максимальной температуры рабочего тела в термодинамическом цикле со смешанным подводом теплоты на приведённый коэффициент использования теплоты (отношение коэффициентов использования теплоты при сгорании и избытка воздуха). Математическая модель, основанная на этой регрессии, учитывает также температуру рабочего тела в геометрическом конце сжатия и позволяет с удо-влетворительной точностью определить максимальную температуру рабочего тела до стадии решения уравнения теплового баланса рабочего тела при смешанном подводе теплоты. Приведены количественные параметры указанной модели и её точности.

Abstract. Using the database on model and operating cycles of transportation diesel engines, the regression of the maximum temperature of the working fluid in a thermodynamic cycle with mixed heat supply on the reduced heat utilization coefficient (the ratio of coefficients of heat utilization during combustion and excess air) is revealed and described. The mathematical model based on this regression also takes into account the temperature of the working fluid at the geometric end of compression and makes it possible to determine with satisfactory accuracy the maximum temperature of the working fluid up to the stage of solving the equation of the thermal balance of the working fluid with a mixed heat supply. The quantitative parameters of the specified model and its accuracy are given.

Ключевые слова: максимальная температура рабочего тела, приведенный коэффициент использования теплоты, степень повышения давления при сгорании.

Keywords: working fluid maximum temperature, reduced heat utilization coefficient, combustion pressure increase rate.

Как известно, тепловой расчёт (ТР) двигателя внутреннего сгорания (ДВС), созданный В.И. Гриневецким и усовершенствованный его последователями, основан на замене сложных для анализа реальных процессов рабочего цикла двигателя их упрощёнными аналогами. Вместо действительного рабочего цикла ДВС рассчитываются параметры и показатели обратимого термодинамического цикла, рабочим телом в котором служит идеальный газ. Вместо анализа реального внутреннего сгорания порции топлива в ТР рассчитывается идеализированный процесс подвода теплоты при некотором соотношении участков с постоянным минимальным объёмом V_c и постоянным максимальным давлением p_z рабочего тела (это так называемый смешанный подвод теплоты). Чтобы расчёт термодинамического цикла давал практически применимые результаты, в ТР используется несколько эмпирических постоянных параметров, таких как условно постоянные потери давления сред, температурные параметры, средние показатели политроп и т.д. [2, с. 28-30, 35-36, 78-82, 96-97].

Тепловой расчёт 4-тактного дизеля применим к номинальному режиму ДВС (полной нагрузки) или, по крайней мере, к режиму работы двигателя, мало отличающемуся от номинального, и излагается в учебной литературе в виде замкнутого набора рекомендаций и математических формул, которые могут немного варьироваться от одного источника к другому и часто сопровождаются числовыми примерами. Например, в работе [6, с. 91-98] помещены два примера теплового

расчёта тракторных дизелей, один из которых не имеет наддува, а другой снабжён турбонаддувом. В справочнике [3, с. 80-87] изложены примеры расчёта рабочего цикла одного 2-тактного судового и двух 4-тактных транспортных дизелей, снабжённых турбонаддувом, причём ход расчёта рабочего цикла соответствовал ТР.

Идеализация процессов действительного рабочего цикла, принятая в ТР и позволяющая выполнять расчёт самыми простыми средствами, затрудняет совмещение значений характерных параметров рабочего тела, определяемых в ТР и при более сложных методах моделирования рабочего цикла (или экспериментальных исследованиях ДВС). Так, для совмещения расчётного и фактического значений максимального давления рабочего тела ($p_z = p_{\max}$) в ТР дизеля необходимо правильно выбрать величину степени повышения давления при сгорании (СПДС) λ_z , равную отношению давления p_z к давлению p_c рабочего тела в геометрическом конце сжатия, когда поршень находится в верхнем положении при закрытых клапанах. Давление p_c можно определить экспериментально, отключая подачу топлива в цилиндр дизеля или делая эту подачу такой поздней, что воспламенение рабочей смеси произойдёт после начала рабочего хода поршня. Так как техника регистрации переменного давления рабочего тела в цилиндре ДВС достаточно совершенна [5, с. 74-128], то можно накопить достаточно сведений о фактических величинах СПДС для использования их в ТР дизелей.

Сложнее обстоит дело с совмещением расчётных значений максимальной температуры рабочего тела, получаемых при ТР и более сложных методах моделирования рабочего цикла ДВС (или на основе экспериментальных индикаторных диаграмм). Обозначим T_z максимальную температуру рабочего тела в термодинамическом цикле со смешанным подводом теплоты и T_{\max} – аналогичную температуру, вычисляемую при более сложном и точном моделировании рабочего цикла дизеля или на основе экспериментальной индикаторной диаграммы для номинального режима. В ТР температура T_z часто вычисляется как один из корней квадратного уравнения, коэффициенты которого a_z и b_z (при 2-й и 1-й степенях T_z) зависят от принятого коэффициента избытка воздуха (КИВ) $a_{ив}$, а «свободный член» c_z – также и от ряда других параметров: коэффициента использования теплоты при сгорании (КИТС) $\xi_z(0)$, низшей теплоты сгорания топлива, коэффициента остаточных газов γ_r , СПДС λ_z , температуры T_c [4, с. 17-18]. В работе [8, с. 198-199] предложено корректировать величину КИТС, чтобы выполнить условие однозначности расчётной максимальной температуры рабочего тела $T_z = T_{\max}$: вначале принимается значение КИТС $\xi_z(0)$ затем корректируется определённым способом, а скорректированный

КИТС обозначается $\xi z(1)$. В настоящей работе рассматриваются только исходные значения КИТС $\xi z(0)$, обычно обозначаемые в литературе без нуля в индексе.

Созданная автором база данных, включающая постоянные параметры и ряд результатов моделирования циклов и экспериментальных исследований нескольких десятков отечественных транспортных дизелей [7, с. 7-18], позволяет по-новому подойти к определению характерных параметров рабочего тела. Для этого можно использовать приёмы математической статистики и отыскивать такие регрессии искомых параметров (откликов) на другие факторы (заданные или известные), которые отличаются приемлемой точностью вычисления откликов. Такие зависимости дополняют ТР и позволяют избежать принятия необоснованных значений постоянных параметров расчёта.

Цель работы – используя материал вышеуказанной базы данных, исследовать зависимость максимальной температуры T_z рабочего тела в термодинамическом цикле со смешанным подводом теплоты от основных факторов и получить математическую модель, пригодную для предварительного определения этой температуры в ходе теплового расчёта дизеля.

Данное исследование проводилось в рамках более широкой работы, посвящённой анализу варьирования значений, КИТС, принимавшихся различными авторами в ходе ТР и уточнённого моделирования рабочих циклов транспортных дизелей. При этом учитывались имевшиеся модельные и эмпирические зависимости параметра относительного теплоиспользования от угла поворота кривошипа, а также возможность аналогий между параметрами, принятыми в ТР и результатами более сложных исследований рабочих циклов ряда дизелей (например, тепловозных ЧН 26/26 и др.). Во всех случаях применялся один и тот же вариант методики вычисления максимальной температуры T_z , чтобы устранить влияние на последнюю имевшихся небольших различий хода ТР в разных первоисточниках.

Одним из факторов, влияние которого на максимальную температуру T_z требовалось исследовать, является исходный КИТС $\xi z(0)$. Но, как отмечалось выше, коэффициенты квадратного уравнения, одним из корней которого является T_z , также зависят от КИВ $a_{ив}$, СПДС λ_z , температуры T_c в конце сжатия и т.д. Для уменьшения размерности задачи моделирования желательнее эти факторы комбинировать, и очевидной их комбинацией служит отношение КИТС и КИВ $\xi z(0)/a_{ив}$, которое можно назвать «приведённым коэффициентом использования теплоты» (ПКИТ). «Свободный член» c_z квадратного уравнения содержит два слагаемых, одно из которых прямо пропорционально ПКИТ, а второе

представляет собой квадратичную функцию температуры T_c ; влиянием же коэффициента остаточных газов γ допустимо пренебречь, так как у дизелей он весьма мал. Низшая теплота сгорания дизельного топлива варьируется очень незначительно и не может служить фактором. Поэтому искомая зависимость T_z от других факторов может иметь вид

$$T_z = T_z(\xi_z(0)/\alpha_{ив}, T_c, \lambda_z). \quad (1)$$

Графиком на рисунке 1 демонстрируется влияние ПКИТ на максимальную температуру T_z рабочего тела в термодинамическом цикле со смешанным подводом теплоты. Этот график построен на основе количественной информации [7, с. 7-14], приведённой в таблицах базы данных в строках “ T_z ”, “ $\alpha_{ив}$ ” и “ $\xi_z(0)$ ”. Всего на графике построено 68 точек, из которых 36 относятся к выполненным ТР дизелей (светлые), а остальные (тёмные точки) – к случаям уточнённого моделирования рабочих циклов или экспериментальных исследований транспортных дизелей, когда температура T_z вычислялась посредством ТР на основе характерных параметров рабочих циклов дизелей. Вследствие неоднозначности определения значений λ_z , T_c или принятых параметров ($\alpha_{ив}$, γ), в ряде случаев одному дизелю соответствует не одна точка, а пара точек (с номерами 1, 13, 18 и др.).

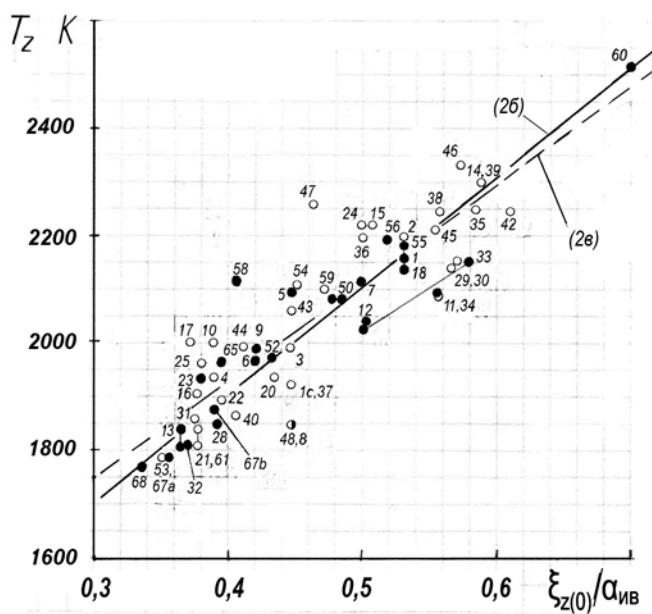


Рисунок 1. График влияния приведённого коэффициента использования теплоты на максимальную температуру рабочего тела в термодинамическом цикле (светлые точки – выполнен классический тепловой расчёт (TR), тёмные – TR выполнен автором на основе результатов уточнённого моделирования рабочих циклов или экспериментальных исследований дизелей)

Соотношение номеров точек и стандартизированных обозначений дизелей видно в верхних строках таблиц базы данных, также содержащей список источников сведений для всех точек. Сведения для точек 67 и 68, относящиеся к тепловозным дизелям ЧН 26/26 и дополняющие базу данных, взяты из работы Анисимова А.С. [1, с. 70-71, 78-80, 84, 113], в которой использованное обозначение T_z фактически относится к максимальной температуре рабочего тела T_{max} . При вычислении температуры T_z для этих точек, по аналогии с выполненными TR для таких дизелей (точки 16, 21, 31), принималось исходное значение КИТС $\xi_{z(0)} = 0,75$.

Поле точек на графике рисунка 1 вытянуто по диагонали и характеризует довольно чёткую возрастающую статистическую зависимость – регрессию максимальной температуры T_z на ПКИТ. Эта

зависимость не является строго функциональной из-за влияния на T_z других факторов, вызывающего заметный вертикальный разброс точек при данном значении ПКИТ (кроме крайних точек 68 и 60, соответствующих наиболее бедному и богатому составам рабочей смеси распылённого испаряющегося топлива и воздуха с примесью остаточных газов; точка 68 для тепловозного дизеля ЧН 26/26, точка 60 – для одноцилиндрового исследовательского дизеля Ч 13/14,2).

Между точками 68 и 60 на графике рисунка 1 проведена прямая линия (2а), которая, как выяснилось, незначительно смещена от линейной регрессии, обоснованной при помощи метода наименьших квадратов (МНК) и может служить базой для отсчёта вертикальных отклонений точек вверх и вниз:

$$\hat{T}_{z(\text{баз})} = \begin{cases} 1085,663 + 2042,196 \xi_{z(0)} / \alpha_{\text{ИБ}} ; & (2а) \\ 1080 + 2040 \xi_{z(0)} / \alpha_{\text{ИБ}} ; & (2б) \\ 1210 + 1810 \xi_{z(0)} / \alpha_{\text{ИБ}} . & (2в) \end{cases}$$

где правая часть (2б) получена из (2а) посредством округления и небольшой корректировки коэффициентов, а правая часть (2в) получена с помощью МНК и также с округлением коэффициентов. Здесь и далее знак ^ над обозначением переменной означает, что вычисленное (с помощью правой части формулы) её значение, вообще говоря, не равно фактическому, использованному для получения расчётной формулы посредством МНК.

Регрессии (2а – 2в) характеризуются коэффициентом парной корреляции около 0,882, указывающим на существенную зависимость отклика от фактора. Переход от регрессии (2а) к (2б), а также округление коэффициентов в регрессии (2в) позволили выровнять пределы относительной погрешности (ОП) расчётного отклика. Для регрессии (2в) они близки к $\pm 0,10$: наименьшая отрицательная ОП – для точки 47, а наибольшая положительная ОП – для точки 8 (соответственно, для ТР дизеля ЧН 12/13 с неразделённой камерой сгорания и вихрекамерного дизеля Ч 8,5/11); среднее абсолютное значение ОП (САОП) немного выше 0,03. При среднем арифметическом значении отклика около 2038 К, эта САОП соответствует абсолютной погрешности вычисления температуры более 60 К (в обе стороны), а вышеуказанные пределы ОП – абсолютной погрешности около ± 200 К. Такие отклонения слишком велики даже для учебных расчётов, поэтому нужно дополнить

базовую регрессию максимальной температуры T_z на ПКИТ слагаемыми, учитывающими влияние других факторов.

Также при исследовании зависимости относительной максимальной температуры рабочего тела T_z/T_c от ПКИТ с помощью МНК было установлено, что T_z/T_c в среднем пропорциональна квадратному корню из ПКИТ (с коэффициентом пропорциональности около 3,1). При этом коэффициент корреляции расчётных и фактических значений относительной максимальной температуры около 0,84, САОП около 0,047, а пределы ОП немного выше $\pm 0,14$. Данную регрессию (в форме степенной функции) удобно использовать для корректировки величины T_z/T_c при изменении ПКИТ.

На рисунке 2 представлены частные регрессии вертикального расстояния от точек на рисунке 1 до линии (26) базовой регрессии T_z на ПКИТ, причём регрессором теперь служит температура T_c рабочего тела в конце сжатия (расчётная либо эмпирическая, значения которой приведены в строке « T_c » базы данных). Графики этих частных регрессий построены для узких интервалов изменения ПКИТ – около 0,4, около 0,5 и т.д.; всего исследовались шесть таких интервалов. Как видно на рисунке 2, частные линейные регрессии на T_c характеризуются довольно грубой точностью. Значения же их числовых коэффициентов a_0T_c и a_1T_c не вполне линейно зависят от ПКИТ, что видно из таблицы и на графике, представленных на рисунке 3. При ПКИТ более 0,5 этот фактор влияет гораздо сильнее на a_0T_c и a_1T_c , чем при меньших значениях ПКИТ. Хотя можно было бы приближённо описать это влияние двумя парами линейных функций регрессии a_0T_c и a_1T_c на ПКИТ, учитывая взаимную пропорциональность этих коэффициентов ($a_0T_c \approx -950 a_1T_c$), окончательный вид этих регрессий устанавливался совместно с базовой регрессией (26), с учётом интегральных показателей точности вычисления температуры T_z .

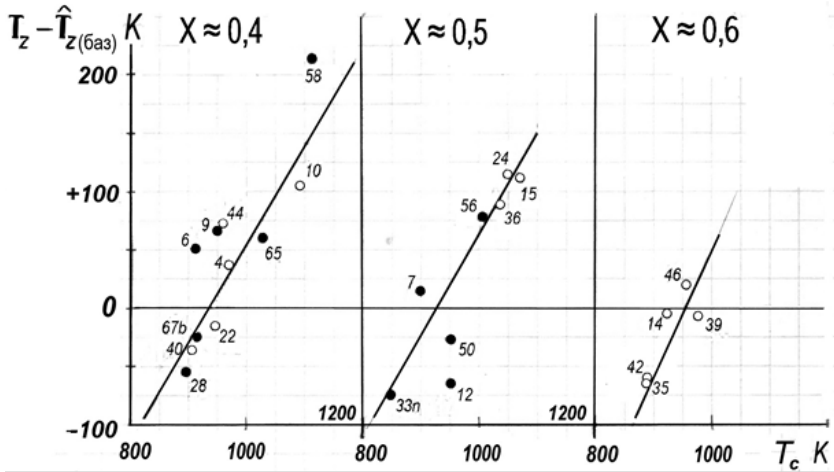


Рисунок 2. Влияние температуры рабочего тела в конце сжатия T_c на вертикальное расстояние от точек на рисунке 1 до базовой прямолинейной зависимости (2б) максимальной температуры T_z от приведённого коэффициента использования теплоты, обозначенного X здесь и далее (для ряда его значений)

Оказалось, что несколько лучшей точностью, чем линейные регрессии коэффициентов $-a_0T_c$ и a_1T_c на ПКИТ, при его повышенных значениях обладают экспоненциальные регрессии. Последние довольно хорошо стыкуются с линейными регрессиями указанных коэффициентов на ПКИТ (используемыми для его пониженных значений) при ПКИТ, близком к 0,51. Таким образом, результирующая зависимость (1) приняла вид

$$\hat{T}_z = 1080 + 2040 \xi_{z(0)} / \alpha_{\text{ИВ}} + \hat{a}_0 T_c + \hat{a}_1 T_c T_c, \quad (3)$$

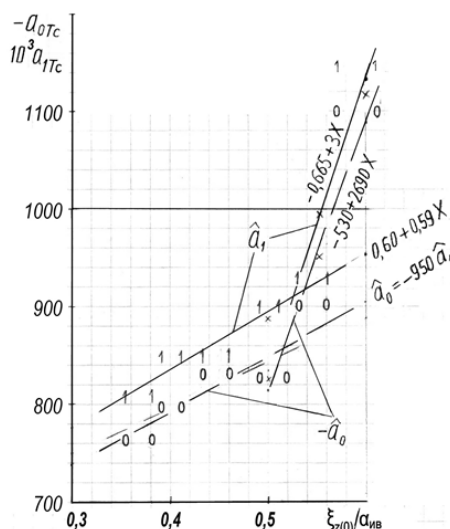
где каждый из двух коэффициентов (в 3-м и 4-м слагаемых правой части) представлен в виде пары их состыкованных регрессий на ПКИТ:

$$\widehat{T_z} - \widehat{T_{z(6a3)}} = a_{0Tc} + a_{1Tc} T_c$$

X^*	a_{0Tc}	a_{1Tc}
0,60	-1096	1,150
0,55	-900	0,930
0,50	-828	0,900
0,45	-830	0,850
0,40	-796	0,850
0,37	-765	0,810

*округлён

а



б

Рисунок 3. Вид и значения коэффициентов линейной функции температуры рабочего тела в конце сжатия (а) и график их линейных ре-грессий на приведённый коэффициент использования теплоты (б); точки 0 и 1 соответствуют коэффициентам $-a_{0Tc}$ и a_{1Tc} , точки x – экспонентам в (4) и (5)

$$-\hat{a}_{0Tc} = \begin{cases} \exp(5,37 + 2,70 \xi_{z(0)} / \alpha_{нв}) & \text{при } \xi_{z(0)} / \alpha_{нв} = 0,5 \dots 0,7; \\ 620 + 440 \xi_{z(0)} / \alpha_{нв} & \text{при } \xi_{z(0)} / \alpha_{нв} \approx 0,3 \dots 0,5; \end{cases} \quad (4)$$

$$\hat{a}_{1Tc} = \begin{cases} \exp(-1.31 + 2.37 \xi_{z(0)} / \alpha_{IB}) & \text{при } \xi_{z(0)} / \alpha_{IB} = 0.5 \dots 0.7; \\ 0.60 + 0.59 \xi_{z(0)} / \alpha_{IB} & \text{при } \xi_{z(0)} / \alpha_{IB} \approx 0.3 \dots 0.53. \end{cases} \quad (5)$$

Интегральные показатели точности вычисления максимальной температуры T_z рабочего тела с помощью формул (3) – (5) следующие:

- коэффициент множественной корреляции около 0,976;
- скорректированный (с учётом наличия двух факторов) коэффициент детерминации около 0,95;
- среднее квадратичное отклонение (СКО) расчётных значений от фактических, приведённых в базе данных, около 42 К;
- пределы ОП расчётных значений: наименьший отрицательный $-0,040$, наибольший положительный $+0,057$ (соответственно, для точек 58 и 60, где точка 58 относится к уточнённому моделированию рабочего цикла дизеля ЧН 12/12);
- САОП около 0,016.

Как видно, включение температуры T_c в математическую модель существенно улучшило её точность, снизив среднее рассеивание результата расчёта максимальной температуры примерно к ± 32 К. Это вполне приемлемо для предварительной оценки величины T_z при ТР дизеля (до решения квадратного уравнения относительно этой температуры). Анализ совокупности полученных 68 значений ОП показал, что хотя в 48 случаях величина ОП была меньше 0,02 (а в 29 случаях даже меньше 0,01), в остальных случаях эта погрешность всё-таки осталась довольно большой и, как правило, отрицательной. Поэтому было проанализировано влияние на повышенные значения величины ОП (превышающие 0,0199) таких факторов, как СПДС λz , относительная максимальная температура T_z/T_c и их произведение $\lambda z T_z/T_c$. Оказалось, что наиболее существенно на T_z/T_c влияет СПДС λz , в том числе – в составе указанного произведения, что позволило далее не учитывать влияния T_z/T_c .

На рисунке 4 показаны пары линий регрессии на фактическую СПДС λz и её расчётный аналог $= 0,85 + 1,50 \xi_{z(0)} / \alpha_{IB}$, полученный с помощью МНК (в этом случае коэффициент корреляции и ПКИТ около 0,64, пределы ОП около $\pm 0,23$ и САОП около 0,08). Верхние линии 1 относятся к небольшому числу точек, показавших сильное влияние СПДС на ОП максимальной температуры рабочего тела: для регрессии на фактическую СПДС принята форма показательной функции $10-4 \exp(3,0 + 1,72 \lambda z)$, а для регрессии на – форма линейной функции $-0,020 + 0,039 \lambda z$.

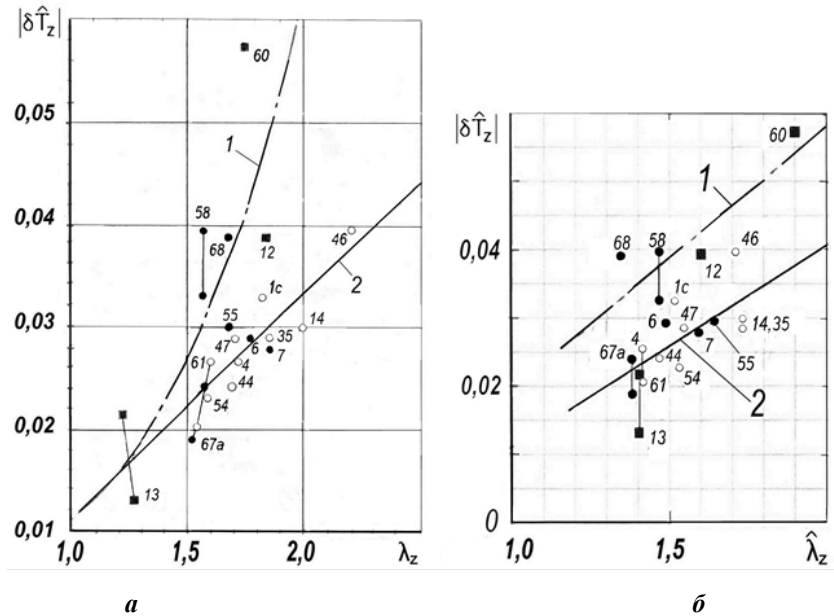


Рисунок 4. Влияние степени повышения давления при сгорании λ_z на модуль повышенной относительной погрешности определения максимальной температуры рабочего тела: а – для фактических значений λ_z ; б – для расчётных значений СПДС (согласно зависимости, приведённой в тексте); точки круглые – для отрицательной ОП, квадратные (только 12, 13 и 60) – для положительной ОП

Нижние линии 2 характеризуют совокупность примерно 3/4 точек в форме таких линейных функций: для регрессии на фактическую СПДС $-0,0108 + 0,0219\lambda_z$, а на расчётную СПДС $-0,019 + 0,030$. Коэффициент корреляции для перечисленных зависимостей находится в пределах около 0,73...0,88 (повышен для нижней линии на левом графике и верхней на правом); САОП для левого графика равна около 0,10 (нижняя линия) и 0,21 (верхняя), а для правого графика – немного выше 0,10 для обеих линий. Здесь видно, что при предварительной оценке температуры T_z описанным методом, если можно ожидать повышенной ОП, удобнее использовать расчётную СПДС, чем фактическую (принимаемую при ТР, чтобы вычислить максимальное давление рабочего тела p_z и решить квадратное уравнение относительно T_z).

Если предполагается повышенная величина ОП $> 0,02$, то уточнение максимальной температуры рабочего тела, вычисленной с помощью формул (3) – (5), выполняется с помощью формулы

$$\hat{T}_{z(\text{уточн.})} = \hat{T}_z / (1 \pm |\delta \hat{T}_{z(\text{расч.})}|) \quad (6)$$

где – расчётное значение ОП, согласно одной из четырёх выше-приведённых регрессий величины ОП максимальной температуры на СПДС; знак плюс или минус берётся, соответственно предполагаемому знаку ОП. Если же нет оснований предполагать повышенную величину, то уточнять вычисленную температуру с помощью (6) не требуется, так как более точное её значение будет получено в ходе ТР при решении вышеупомянутого квадратного уравнения.

Таким образом, максимальная температура T_z рабочего тела в термодинамическом цикле со смешанным подводом теплоты наиболее существенно зависит от приведённого коэффициента использования теплоты (ПКИТ) $\xi_z(0)/\alpha_{ив}$, менее существенно – от температуры T_c рабочего тела в конце сжатия и малосущественно – от степени повышения давления при сгорании (СПДС) λ_z . Относительная максимальная температура T_z/T_c приближённо пропорциональна квадратному корню из ПКИТ. Для предварительного вычисления максимальной температуры T_z пригодна двухфакторная математическая модель, состоящая из формул (3) – (5) и обеспечившая среднюю величину относительной погрешности около 0,016. При необходимости дополнительного учёта влияния λ_z следует воспользоваться формулой (6) и одной из регрессий повышенной величины ОП вычисленной максимальной температуры рабочего тела на СПДС.

Список литературы:

1. Анисимов А. С. Разработка научных основ повышения эксплуатационных показателей тепловозов посредством применения смесового углеводородного топлива и управления эффективной мощностью энергетической установки: Дис... докт. техн. наук/ ОмГУПС (ОмИИТ). – Омск, 2024. – 313 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Учеб. для вузов / А. С. Хачиян [и др.]; под ред. В. Н. Луканина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1985. – 312 с.
3. Дизели. Справочник / Б. П. Байков [и др.]; под ред. В. А. Ваншейдта [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1977. – 480 с.

4. Зейнетдинов Р. А. Проектирование автотракторных двигателей. Учебное пособие / Р.А. Зейнетдинов, И.Ф. Дьяков, С.В. Ярыгин. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 168 с.
5. Испытания двигателей внутреннего сгорания / Б.С. Стефановский, Е.А.Скобцов, Е.К. Корси [и др.] – М.: Машиностроение, 1972. – 368 с.
6. Николаенко А. В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей. – М.: Колос, 1984. – 336 с.
7. Стефановский А. Б. Максимальная температура рабочего тела в результатах моделирования и экспериментальных исследований рабочего процесса транспортных дизелей. Справочное пособие. – 2-е изд., доп. – Мелитополь, 2025. – 32 с.
8. Стефановский А. Б. Согласование альтернативных значений максимальной температуры рабочего тела при тепловом расчёте дизеля // Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения: сб. трудов VIII Всеросс. (нац.) научно-практ. конф... – Челябинск: ОУ ВО «Южно-Уральский технологич. ун-т», 2024. – С. 195-211.

РАЗДЕЛ 2.

МАТЕМАТИКА

2.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

МАТРИЦА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ГРП

Сахибгараев Рамис Расилевич

аспирант, главный специалист
(по проектированию),
«Татнефть-Добыча» ПАО «Татнефть»
им. В.Д. Шашина,
РФ, г. Альметьевск

Фаттахов Ирик Галиханович

д-р техн. наук, директор
по повышению нефтеотдачи пластов,
волновым и биотехнологиям,
Институт «ТатНИПИнефть»,
РФ, г. Альметьевск

Аленькин Илья Алексеевич

аспирант, младший научный сотрудник
центра научно-технических исследований
Передовой инженерной нефтяной школы,
Альметьевский государственный
технологический университет
«Высшая школа нефти»,
РФ, г. Альметьевск

Кузьмина Марина Валентиновна

научный сотрудник,
Институт «ТатНИПИнефть»
РФ, г. Альметьевск

MATRIX FOR SELECTING THE OPTIMAL HYDRAULIC FRACTURING TECHNOLOGY

Sakhibgaraev Ramis Rasilevich

*Postgraduate Student,
Chief Specialist (Design),
Tatneft-Dobrycha, PJSC Tatneft
named after V.D. Shashin
Russia, Almeteyevsk*

Fattakhov Irik Galikhanovich

*Doctor of Engineering Sciences,
Director of Enhanced Oil Recovery,
Wave and Biotechnology,
TatNIPIneft Institute,
Russia, Almeteyevsk*

Alenkin Ilya Alekseevich

*Postgraduate Student, Junior Researcher,
Center for Scientific and Technical Research,
Advanced Petroleum Engineering School,
Almeteyevsk State Technological University
"Higher School of Oil",
Russia, Almeteyevsk*

Kuzmina Marina Valentinovna,

*Researcher,
TatNIPIneft Institute
Russia, Almeteyevsk*

Аннотация. Целью данной работы является разработка практической матрицы, которая даёт возможность обоснованно выбирать оптимальную технологию ГРП с учетом реологических свойств применяемых рабочих жидкостей и геологических условий целевого пласта. Для этого используется метод моделирования пластовых условий в симуляторе ГРП для пашийского горизонта Ромашкинского месторождения. В результате получается аналитическая матрица выбора технологии ГРП, которая учитывает пластовые условия, вязкость жидкости ГРП, общие потери давления на трение, градиент давлений, а также мощность межпластовой перемычки и расход жидкости при ГРП. Таким образом, благодаря применению

матрицы выбора оптимальной технологии ГРП становится возможным повышение эффективности добычи на месторождениях, переходящих к завершающей стадии разработки.

Abstract. The objective of this study is to develop a practical matrix that enables the informed selection of the optimal hydraulic fracturing technology, taking into account the rheological properties of the hydraulic fluids used and the geological conditions of the target formation. This is achieved by modeling reservoir conditions in a hydraulic fracturing simulator for the Pashiysky horizon of the Romashkinskoye field. The resulting analytical matrix for selecting the hydraulic fracturing technology takes into account reservoir conditions, hydraulic fracturing fluid viscosity, total friction pressure losses, pressure gradient, as well as the thickness of the hydraulic barrier and the hydraulic fracturing flow rate. Thus, by using the matrix for selecting the optimal hydraulic fracturing technology, it is possible to improve production efficiency at fields entering the final stages of development.

Ключевые слова: гидроразрыв пласта (ГРП), нефтеотдача пластов, технологические параметры, рабочие жидкости, осложнённые геологические условия, практическая матрица выбора технологии.

Keywords: hydraulic fracturing, oil recovery, process parameters, working fluids, complex geological conditions, practical technology selection matrix.

В условиях роста доли трудноизвлекаемых запасов углеводородов технология гидроразрыва пласта (ГРП) продолжает оставаться одним из основных методов, позволяющих эффективно повысить нефтеотдачу пластов [1, с. 53]. При этом эффективность проведения ГРП в значительной мере определяется точностью подбора технологических параметров операции и обоснованностью выбора типа рабочих жидкостей [2, с. 7]. Особенно важно учитывать данные аспекты при работе в осложнённых геологических условиях [3, с. 39].

В связи с этим особую актуальность приобретает разработка практической матрицы, которая даёт возможность обоснованно выбрать оптимальную технологию ГРП. Такой инструмент учитывает одновременно реологические свойства применяемых рабочих жидкостей и геологические условия целевого пласта. Разработка матрицы производилась на основе результатов моделирования в симуляторе ГРП для условий пашийского горизонта Ромашкинского месторождения. Основной задачей стала формирование трещины с оптимальной геометрией и оптимальным значением безразмерной проводимости C [4, с. 30]:

$$C_{fD} = \frac{k_f w}{k x_f} \approx 1.6 \quad (1)$$

где

x_f – полудлина трещины;

k_f – проницаемость пропанта;

k – проницаемость породы;

w – средняя ширина трещины

В рамках моделирования сравнивались два типа жидкостей: высоковязкие

(500-700 сП) и маловязкие (60-150 сП). Для каждого типа жидкости задавались расход жидкости в диапазоне 2,8-3,8 м³/мин и объём буферной стадии в диапазоне 10-30 м³. Анализ результатов показал явную зависимость геометрии трещины от реологических свойств рабочих жидкостей [5, с. 6024].

При использовании высоковязких жидкостей оптимальная безразмерная проводимость достигается при расходе 3,0-3,2 м³/мин. Для высоковязких жидкостей характерно незначительное изменение длины трещины, но из-за высокой эффективности жидкости ГРП трещина значительно увеличивается в высоту. Для маловязких жидкостей оптимальный расход смещается в диапазон 3,6-3,8 м³/мин и более [6, с. 206]. Длина трещины растёт пропорционально увеличению расхода, но её высота остаётся практически неизменной, а ширина снижается. Такой характер развития трещины идеально подходит для проведения ГРП в условиях маломощных барьеров до водонасыщенных пластов.

Объём жидкости в буферной стадии основного ГРП также существенно влияет на геометрию трещины [7, с. 111]. Высоковязкие жидкости, обладают более лучшими песконесущими свойствами и меньшими утечками в пласт. Поэтому оптимальный объём буферной стадии варьируется в диапазоне 10-15 м³ (31-39 % от общего объёма закачки). Это обеспечивает надёжную транспортировку 8т пропанта и достижение необходимой проводимости. Маловязкие жидкости характеризуются повышенными утечками из-за низкой вязкости жидкости [8, с. 12]. Поэтому для поддержания гидравлической ширины трещины требуется увеличенный объём буферной стадии в диапазоне 25-30 м³ (50-56 % от общего объёма) [9, с. 95].

Фактические результаты проведения ГРП с применением высоковязких и маловязких жидкостей приведены на рисунке 1.

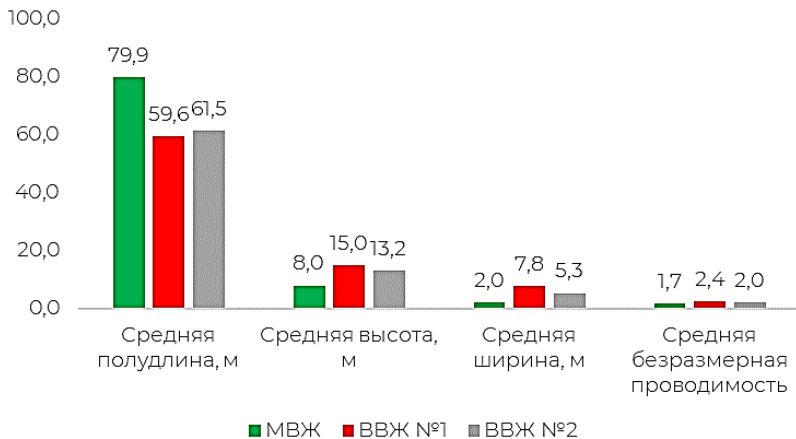


Рисунок 1. Результаты сравнительно анализа ГРП за 2022-2024 гг

Статистический анализ показывает снижение высоты трещины на 40-47% по сравнению с трещинами, образованными при использовании традиционных жидкостей ГРП. Данный эффект обусловлен реологическими характеристиками маловязкой жидкости, которая не создает в трещине высокое давление и позволяет ограничивать рост трещины по вертикали [10-12, с. 71, 89, 141].

Система ВВЖ-1 демонстрирует наилучшие показатели по ширине трещины и проводимости, что указывает на оптимальное сочетание реологических и песконесущих свойств.

Система ВВЖ-2 показывает сбалансированные характеристики, занимая промежуточное положение по всем параметрам.

В работе [13-14, с.42] для Ромашкинского месторождения были определены критерии подбора скважин-кандидатов для производства ГРП с использованием маловязких жидкостей ГРП:

- общие трения по результату ниже 90 атм;
- градиент напряжений ниже 0,140 атм/м;
- эффективность жидкости ГРП выше 25%.

На основе полученных данных разработана аналитическая матрица выбора технологии ГРП [5-14].

Таблица 1.

Аналитическая матрица выбора оптимальной технологии ГРП

Параметр	Гуар (высокая вязкость)	Ксантан (низкая вязкость)
Условия	стандартные	риски прорыва в нижележащий водонасыщенный пласт
Вязкость жидкости ГРП, сП	500-1200	100-150
Общие потери давления на трение, атм	нет ограничений	230
Градиент давлений, атм/м	до 0,220	до 0,175
Эффективность жидкости, %	нет ограничений	выше 25
Мощность межпластовой перемычки, м	более 4	более 2
Расход жидкости при ГРП (для $CfD \approx 1.6$), м ³ /мин	3-3,2	3,6-5,0
Объем буферной стадии для (для $CfD \approx 1.6$), %	30-40	50-60

Практическая значимость работы заключается в создании инструмента, позволяющего инженерам-проектировщикам принимать обоснованные решения при планировании ГРП. Использование матрицы даёт возможность:

- прогнозировать геометрию трещины с учётом конкретных геомеханических условий;
- минимизировать риски прорыва в водонасыщенные пласты;
- оптимизировать затраты за счёт точного подбора параметров закачки и типа жидкости.

Таким образом, предложенный подход способствует повышению эффективности добычи на месторождениях поздней стадии разработки, где доля трудноизвлекаемых запасов неуклонно растёт. Разработанная матрица может быть использована как при проектировании новых операций ГРП, так и при оптимизации существующих технологий, обеспечивая баланс между технической реализуемостью, экономической целесообразностью и экологической безопасностью.

Список литературы:

1. Повышение эффективности гидравлического разрыва пласта на зрелых месторождениях / А. В. Чураков, М. Н. Пичугин, Я. И. Горбачев [и др.] // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. – 2024. – Т. 6, № 2. – С. 50-60. – DOI 10.54859/kjogi108722. – EDN YOOQCB.
2. Нуриев, А. А. Результаты применения полученных коэффициентов вдавливания расклинивающего материала при составлении дизайна гидравлического разрыва пласта для нефтематеринских пород / А. А. Нуриев, Д. В. Кашапов, Ш. Х. Султанов // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 1. – EDN SCULXD.
3. Егорова, Е. В. Подходы к разработке гидроразрыва пласта и оптимизация к повышению продуктивности скважин / Е. В. Егорова, О. А. Смолянская, Н.А. Пименова // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. – 2023. – № 3. – С. 37-41. – DOI 10.24143/1812-9498-2023-3-37-41. – EDN RJCXEN.
4. Влияние вязкости технологической жидкости на геометрию трещин гидроразрыва / А. В. Насыбуллин, О. В. Салимов, Р. З. Сахабутдинов, В. Г. Салимов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2017. – № 4. – С. 29-34. – EDN ZCJ1WN.
5. Диагностический анализ вопроса эффективности проведения гидравлического разрыва пласта / И. Г. Фаттахов, П. М. Малышев, А. Ф. Шакурова [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-27. – С. 6023-6029. – EDN UBVDDB.
6. Применение современной технологии гидравлического разрыва пласта в залежах с подошвенной водой / И. Г. Фаттахов, Т. Ю. Юсифов, З. Х. Байбулатова [и др.] // Научное обозрение. – 2016. – № 17. – С. 204-208. – EDN WXRAKH.
7. Шляпкин, А. С. Формирование трещины гидроразрыва пласта высоковязким гелем / А. С. Шляпкин, А. В. Татосов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2020. – № 9(345). – С. 109-112. – DOI 10.30713/2413-5011-2020-9(345)-109-112. – EDN SXIVSH.
8. Пономарева, И. Н. Оценка результатов гидравлического разрыва пласта на основе анализа геолого-промысловых данных / И. Н. Пономарева, Д.А.Мартышев // Георесурсы. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 8-14. – DOI 10.18599/grs.2020.2.8-14. – EDN RDPEPZ.
9. Сеницына, Т. И. Алгоритм планирования повторного селективного гидравлического разрыва пласта в горизонтальных скважинах / Т. И. Сеницына, Я. М. Курбанов // Нефтяное хозяйство. – 2024. – № 11. – С. 92-97. – DOI 10.24887/0028-2448-2024-11-92-97. – EDN QUSHTX.

10. Экспериментальное исследование реологических свойств жидкостей для гидроразрыва пласта / Д. В. Ефремов, И. А. Банникова, Ю. В. Баяндин [и др.] // Вестник Пермского университета. Физика. – 2020. – № 4. – С. 69-77. – DOI 10.17072/1994-3598-2020-4-69-77. – EDN XGKUIC.
11. Шляпкин, А. С. Математическое моделирование процесса гидроразрыва пласта с учетом особенностей движения пропанта в трещине и фильтрационных утечек в пласт: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Шляпкин Алексей Сергеевич, 2022. – 139 с. – EDN PKCZVM.
12. Повторный гидроразрыв с уменьшением массы пропанта / Т. Ю. Юсифов, И. Г. Фаттахов, Э. Ю. Юсифов [и др.] // Научное обозрение. – 2014. – № 11-1. – С. 139-142. – EDN TJXNCD.
13. Оценка рисков проведения гидроразрыва пласта в скважинах для ряда значений зенитного угла ствола скважины на основе статистического анализа / И. Г. Фаттахов, А. В. Кочетков, Р. Р. Степанова, И. Ф. Галиуллина // Нефтепромышленное дело. – 2022. – № 2(638). – С. 31-36. – DOI 10.33285/0207-2351-2022-2(638)-31-36. – EDN KMMDTF.
14. Сахибгараев, Р. Р. Применение облегченных сверхлегких пропантов для повышения эффективности гидравлического разрыва пласта / Р. Р. Сахибгараев, И. Г. Фаттахов, А. А. Пименов // Нефтегазовое дело. – 2025. – Т. 23, № 2. – С. 38-47. – DOI 10.17122/ngdelo-2025-2-38-47. – EDN CSIBDA.

РАЗДЕЛ 3. МЕХАНИКА

3.1. МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

МЕЖЛАБОРАТОРНАЯ НЕСОПОСТАВИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ ЛЬДА

Галиев Ильдар Мурзагитович

*канд. физ.-мат. наук,
кафедра строительных
технологий и конструкций,
БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа –
Югры «Сургутский государственный университет»,
РФ, г. Сургут*

INTERLABORATORY INCOMPARABILITY OF RESULTS IN EXPERIMENTAL ICE MECHANICS

Galiev Ildar Murzagitovich

*Candidate of Physical
and Mathematical Sciences,
Department of Building Technologies
and Structures, Surgut State University,
Russia, Surgut*

Аннотация. В статье рассматриваются причины межлабораторной несопоставимости результатов механических испытаний льда. Показано, что расхождения обусловлены не только естественной вариативностью свойств материала, но и различиями в экспериментальных протоколах, включая способ задания скорости деформации, критерий разрушения, алгоритм определения модуля, описание исходного материала, граничные и контактные условия, а также характеристики измерительной системы. Особое внимание уделено современному этапу

развития проблемы, связанному с использованием полнополевых и акустических методов наблюдения, а также с переносом экспериментальных данных в численные модели. Показано, что в современной практике уже сформировался круг параметров, которые всё чаще описываются единообразно, однако единый межлабораторный стандарт испытаний льда по-прежнему отсутствует. Сформулированы минимальные требования к унификации протокола, необходимые для физически корректного сопоставления результатов.

Abstract. The article examines the reasons why results obtained in mechanical tests of ice are often not comparable across different laboratories. It is shown that discrepancies are caused not only by the natural variability of ice properties, but also by differences in experimental protocols, including the method of prescribing strain rate, the failure criterion, the procedure used to determine the elastic modulus, the description of the initial material, the boundary and contact conditions, and the characteristics of the measurement system. Special attention is given to the current stage of the problem, which is associated with the development of full-field and acoustic monitoring techniques as well as with the use of experimental data in numerical modeling. It is shown that modern practice has already identified a set of parameters that are increasingly reported in a unified manner; however, a single interlaboratory standard for ice testing has not yet been established. The minimum protocol elements required for physically correct comparison of results are formulated.

Ключевые слова: механика льда, экспериментальная механика, экспериментальный протокол, межлабораторная сопоставимость, скорость деформации, критерий разрушения, модуль упругости, контактные условия, измерительная система, морской лёд, структура льда, стандартизация испытаний.

Keywords: ice mechanics, experimental mechanics, experimental protocol, interlaboratory comparability, strain rate, failure criterion, elastic modulus, contact conditions, measurement system, sea ice, ice structure, test standardization.

Введение

Экспериментальные данные по льду служат основой для анализа его прочности, жёсткости и механизмов разрушения. Однако сопоставление публикаций быстро выявляет характерную проблему: испытания, одинаковые по названию, нередко приводят к различным численным результатам. Для льда это связано не только с природной

неоднородностью материала, но и с тем, что в разных лабораториях фактически реализуются различные физические постановки опыта [1; 2; 4; 5; 11].

За последние два десятилетия данная проблема не ослабла, а приобрела новые формы в связи с развитием полнополевых методов измерения, акустического мониторинга разрушения и численного моделирования льда. Современные исследования показывают, что наряду с интегральными диаграммами нагружения всё большее значение приобретают пространственные поля деформаций, сценарии локализации и детализированное описание структуры льда. В частности, метод цифровой корреляции изображений позволяет различать механизмы локализации и разрушения при одноосном сжатии морского льда [6], а распределённые акустические измерения – проследить пространственно-временную последовательность событий разрушения ледяной плиты [7]. В то же время современные обзоры моделей механического поведения льда подчёркивают, что без стандартизованного описания режима нагружения, структуры образца и способа выделения параметров даже развитые численные модели опираются на данные ограниченной сопоставимости [8]. Следовательно, вопрос унификации протокола следует рассматривать не как формальную проблему оформления, а как необходимое условие связи между экспериментом, интерпретацией и моделированием.

Таким образом, отсутствие единых протоколов следует понимать не как недостаток отчётности, а как методологическую причину несопоставимости данных. Если по-разному задаются скорость деформации, критерий разрушения, способ вычисления модуля, описание исходного материала и условия измерения, то одинаковые обозначения могут скрывать физически различные величины.

1. Протокол испытания и основные источники несопоставимости

В крупномасштабных испытаниях Чэня и Ли показано, что целевая и фактическая скорости деформации могут не совпадать, поэтому фиксация одной номинальной величины скорости в протоколе ещё не гарантирует одинакового напряжённо-деформированного состояния [2]. Не менее неоднозначен и критерий разрушения: в одних работах он связывается с первым максимумом напряжения, в других – с последним максимумом, заданным уровнем нагрузки или раскрытием трещины [2; 4; 13]. Следовательно, разные лаборатории нередко фиксируют различные стадии одного и того же процесса разрушения.

Схема основных источников межлабораторной несопоставимости приведена на рис. 1. Она показывает, что результат испытания формируется системой взаимосвязанных решений: как нагружать образец,

какую часть диаграммы считать упругой, как описывать исходный лёд и что включать в измерительную систему. Изменение хотя бы одной из этих позиций может сохранить привычное обозначение результата, но изменить его физический смысл.

Пять источников межлабораторной несопоставимости



Итог: расхождения между лабораториями часто отражают не только разброс, но и разные физические постановки испытания.

Рисунок 1. Схема факторов, переводящих межлабораторные различия из области статистического разброса в область физической несопоставимости результатов

2. Модуль упругости, исходный материал и граничные условия

Особенно показательной является проблема модуля упругости. Для льда начальный участок диаграммы «напряжение–деформация» нередко искажается контактной податливостью системы «образец – плита». Поэтому в одних работах используется максимальный касательный модуль после коррекции начальной деформации, в других – секущая жёсткость при заранее выбранном уровне нагрузки, а в обобщающих сводках фигурирует эффективный модуль, зависящий от условий наблюдения [1; 2; 11]. В результате под символом E могут скрываться различные параметры.

Дополнительная несопоставимость связана с самим исходным льдом. Для морского льда принципиальны плотность, солёность, пористость, объём рассола, зеренная структура и глубина отбора образца. Дайкинс показал изменение этих характеристик по толщине покрова [3], а Менге и Джонс связали прочность льда первого года с субструктурой кристаллов и профилем свойств по глубине [12]. Даже при близком материале результаты остаются чувствительными к контактными условиям и схеме регистрации: уже малая несоосность при растяжении смещает измеренную прочность, а тип плит при сжатии влияет на кажущуюся прочность [4; 5].

Современные российские полевые исследования также подтверждают, что механические характеристики льда должны рассматриваться только вместе с данными о его температуре, солёности, плотности, структуре и глубине отбора образца. Так, по результатам экспедиции «Трансарктика-2019» механические свойства льда анализировались совместно с его физическими характеристиками и структурой [9]. Для инженерных задач морского льда аналогично важным является экспериментальное определение упругих характеристик ледяного покрова с явным указанием схемы измерения и условий испытания [10]. Эти работы показывают, что в российской исследовательской практике уже сформировался запрос на более детализированное и воспроизводимое описание протокола, хотя единая общеобязательная схема пока не выработана.

На рис. 2 показано, какие именно позиции протокола должны описываться единообразно, чтобы сопоставление результатов было физически корректным.

Что должно быть унифицировано для сопоставимости результатов

Позиция протокола	Варианты в работах	К чему приводит различие
Скорость деформации	target / actual инженерная / фактическая	Сравниваются разные режимы нагружения, даже если численно скорость выглядит одинаково
Критерий разрушения	первый пик; последний пик; σ_{90} ; CMOD	«Прочность» относится к разным стадиям процесса разрушения
Модуль упругости	касательный; секущий; эффективный	Буква E обозначает разные по смыслу параметры жесткости
Исходный материал	плотность; соленость; пористость; текстура; глубина отбора	Под одним названием льда скрываются разные структурные состояния
Граничные условия и регистрация	тип плит; торцевое стеснение; эксцентриситет; чувствительность датчиков	Часть раскождений определяется контактом и возможностями измерительной системы

Минимальный стандарт сопоставимости: фактическая скорость деформации, критерий разрушения, алгоритм вычисления модуля, описание структуры льда, контактные условия и параметры измерительной системы.

Рисунок 2. Позиции протокола, требующие унификации для корректного межлабораторного сопоставления результатов

3. Что уже унифицируется в современной практике и что по-прежнему требует стандартизации

Минимальный набор позиций, которые в современной практике всё чаще описываются единообразно, включает: фактическую скорость деформации; критерий разрушения; алгоритм вычисления модуля; описание структуры исходного льда; контактные условия; характеристики измерительной системы; а в более новых работах – также способ пространственной регистрации деформаций и разрушения. Именно эти элементы сегодня формируют основу воспроизводимого протокола.

В исследованиях Вана и соавт. с использованием метода цифровой корреляции изображений механический результат уже не ограничивается одной кривой «нагрузка–перемещение», а дополняется картами локализации деформаций [6]. В натурных работах Се и соавт. применяются распределённые акустические измерения, позволяющие описывать разрушение как последовательность событий в пространстве и времени [7]. В обзорной работе Мохтари и Лейры, ориентированной на использование эксперимента в численном моделировании, отдельно подчёркивается необходимость указывать диапазоны температур, скоростей деформации, структуру льда и условия испытания при переносе данных в модели [8]. Иными словами, в современной практике уже выделился круг обязательных для описания позиций, но единый общепринятый межлабораторный стандарт их задания и интерпретации до сих пор отсутствует.

Лишь при такой степени документирования можно отделить естественную вариативность льда от различий, порождённых самой методикой [1; 2; 3; 4; 5; 11; 12]. Поэтому расхождения между лабораториями следует трактовать не только как статистический разброс. Во многих случаях они свидетельствуют о том, что измерялись различные режимы деформирования, различные структурные состояния льда или различные стадии разрушения. Для инженерной интерпретации это принципиально: публикуемое число имеет смысл только вместе с тем протоколом, в рамках которого оно было получено.

Заключение

Отсутствие единых протоколов в экспериментальной механике льда является одной из основных причин межлабораторной несопоставимости результатов. Различия возникают потому, что исследователи по-разному задают скорость деформации, определяют момент разрушения, рассчитывают модуль упругости, описывают исходный материал и организуют контактно-измерительную схему. Поэтому одинаковые символы и одинаковые словесные обозначения далеко не всегда соответствуют одинаковым физическим величинам.

Современный этап развития экспериментальной механики льда показывает, что проблема несопоставимости уже не сводится к расхождениям между отдельными численными результатами. Она связана с необходимостью согласованного описания режима нагружения, структуры образца, измерительной схемы и способа интерпретации данных, особенно при использовании полнополевых и акустических методов наблюдения. Главный практический вывод состоит в необходимости перехода от формального сравнения чисел к сопоставлению полноценно описанных физических постановок. Только стандартизованное описание режима нагружения, алгоритма обработки и структуры льда позволяет сделать данные разных лабораторий действительно сопоставимыми и пригодными для дальнейшего использования в моделировании и инженерных расчётах.

Список литературы:

1. Arakawa, M., Maeno, N. Mechanical strength of polycrystalline ice under uniaxial compression // *Cold Regions Science and Technology*. – 1997. – Vol. 26, No. 3. – P. 215–229.
2. Chen, A. C. T., Lee, J. Large-scale ice strength tests at slow strain rates // *International Offshore Mechanics and Arctic Engineering Symposium*. – 1986. – P. 374–378.

3. Dykins, J. E. Tensile properties of sea ice grown in a confined system // *Physics of Snow and Ice: Proceedings*. – 1967. – Vol. 1, No. 1. – P. 523–537.
4. Hawkes, I., Mellor, M. Deformation and fracture of ice under uniaxial stress // *Journal of Glaciology*. – 1972. – Vol. 11, No. 61. – P. 103–131.
5. Haynes, F. D., Mellor, M. Measuring the uniaxial compressive strength of ice // *Journal of Glaciology*. – 1977. – Vol. 19, No. 81. – P. 213–223.
6. Wang, A. et al. Full-field deformation measurement for uniaxial compression of sea ice // *The Cryosphere*. – 2019. – Vol. 13. – P. 1487–1494.
7. Xie, J. et al. Ice plate deformation and cracking revealed by an in situ-distributed acoustic sensing array // *The Cryosphere*. – 2024. – Vol. 18. – P. 837–847.
8. Mokhtari, M., Leira, B. J. A critical review of constitutive models applied to ice-crushing simulations // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2024. – Vol. 12. – Art. 1021.
9. Ковалев, С. М. и др. Основные физические и механические характеристики льда по результатам экспедиции «Трансарктика-2019» // *Проблемы Арктики и Антарктики*. – 2020. – Т. 66, № 3. – С. 293–320.
10. Марченко, А. В., Карулин, Е. Б., Чистяков, П. В. Экспериментальное определение упругих характеристик морского ледяного покрова // *Вести газовой науки*. – 2020. – № 3(45). – С. 129–140.
11. Mellor, M. *Mechanical Behavior of Sea Ice*. – Hanover, N.H. : U.S. Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 1983. – VI, 105 p. – (CRREL Monograph ; 83-1).
12. Menge, J. A. R., Jones, K. F. The tensile strength of first-year sea ice // *Journal of Glaciology*. – 1993. – Vol. 39, No. 133. – P. 609–618.
13. Sammonds, P. R., Murrell, S. A. F., Rist, M. A. Fracture of multiyear sea ice // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. – 1998. – Vol. 103, No. C10. – P. 21795–21815.

РАЗДЕЛ 4.

ФИЗИКА

4.1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРВОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ В БУРЕНИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Мастерова Ольга Юрьевна

*преподаватель спецдисциплин,
ГБПОУ Октябрьский нефтяной
колледж им С.И.Кувыкина
Республика Башкортостан,
РФ, г. Октябрьский*

Аннотация. Первое начало термодинамики играет важнейшую роль в понимании законов природы и формировании инженерных решений. Оно служит основой для анализа энергетических циклов и расчета эффективности машин и установок. Это фундаментальное знание продолжает оставаться актуальным и необходимым для дальнейшего прогресса науки и техники. В статье рассматриваются принципы применения первого начала термодинамики к различным аспектам бурения, их влияние на ход технологического процесса.

Введение

Бурение нефтяных и газовых скважин – сложный технический процесс, включающий взаимодействие множества физических и химических факторов. Одной из центральных дисциплин, объясняющих явления, происходящие в процессе бурения, является термодинамика. В рамках изучения этого процесса особую роль играют законы термодинамики, которые помогают объяснить и предсказать течение различных энергетических процессов. Одно из базовых положений термодинамики – первое начало, устанавливающее закон сохранения энергии, находит широкое применение в практике бурения.

Процесс бурения нефтяных и газовых скважин характеризуется интенсивным взаимодействием различных физических факторов, среди которых особое место занимает теплообмен и превращение энергии.

Принцип сохранения энергии в бурении. Энергетический баланс скважины

Во время бурения происходят множественные процессы трансформации энергии: вращательная энергия бурильного инструмента преобразуется в механическую энергию разрушения породы, электрическая энергия трансформаторов поступает в гидравлические системы циркуляции раствора, а химическая энергия топлива расходуется на обеспечение функционирования буровых агрегатов. Каждый из этих явлений иллюстрирует ключевой постулат первого начала термодинамики: сумма поступающей энергии равна сумме выделившейся энергии плюс изменение внутренней энергии системы. Простейшим примером является оценка энергопотребления бурильной колонны, когда увеличение крутящего момента и частоты вращения приводится в соответствие с увеличением глубины забоя и усложнением условий проходки.

Главной особенностью процесса бурения является значительное выделение энергии, сопровождающее разрушение горных пород и перемещение флюидов. Эта энергия проявляется в виде теплоты, возникающей при трении бурильного инструмента, а также энергии циркуляционных потоков бурового раствора и гидростатического давления в стволе скважины.

Основная проблема в глубоководном бурении является высокая температура, образующаяся вблизи ствола скважины. Температуры достигают сотен градусов Цельсия, что оказывает разрушительное воздействие на используемые материалы и оборудование. Снижение температуры вблизи ствола скважины (на забое) достигается преимущественно интенсификацией охлаждения буровым раствором. Основные пути включают в себя увеличение расхода и скорости циркуляции раствора, использование хладагентов, снижение температуры раствора на поверхности, оптимизацию режимов бурения.

Основные методы снижения температуры:

– Интенсивная циркуляция: Увеличение расхода бурового раствора обеспечивает более быстрый вынос тепла из забоя и улучшает охлаждение долота.

– Охлаждение раствора на поверхности: Использование холодильных установок или теплообменников перед закачкой раствора в скважину

– Применение хладагентов: Добавление в раствор льда или использование жидкого азота для кратковременного, но эффективного снижения температуры при критическом перегреве.

Эти методы критически важны в глубоких и высокотемпературных скважинах для

обеспечения стойкости долот, долговечности работы насосов.

В качестве примера рассмотрим расчет, демонстрирующий использование первого начала термодинамики при оценке эффективности охлаждения бурового инструмента в процессе бурения нефтяной скважины.

Исходные данные:

– Мощность, потребляемая двигателем буровой установки:
 $N_{дв} = 1500$ кВт

– Коэффициент полезного действия передачи усилия от двигателя к долоту: $\eta = 0,85$

– Диаметр долота 93мм

– Наружный диаметр буровой трубы 73мм

– Время непрерывного бурения: $t = 1$ час

– Температурный диапазон пород вокруг ствола: от 20 до 100°C

– Удельная теплоемкость бурового раствора: $C_p = 4,18$ кДж/кг°C

Цель расчета – определить минимально необходимый объем подачи бурового раствора для эффективного охлаждения долота, обеспечивающего нормальный тепловой режим работы долота и предотвращение перегрева.

1. Определим мощность, передаваемую долоту:

$$N_{дол} = N_{дв} \eta = 1500 * 0,85 = 1275 \text{ кВт}$$

2. Оценим энергию, затраченную на бурение за 1 час:

$$E = N_{дол} t = 1275 * 3600 = 4,59 * 10^6 \text{ кДж}$$

3. Из-за трения долото выделяет тепло, которое должно быть отведено раствором. Предположим, что 50% механической энергии преобразуется в теплоту:

$$Q = 0,5E = 0,5 * 4,59 * 10^6 = 2,295 * 10^6 \text{ кДж}$$

4. Используя формулу для расчета количества теплоты, определим необходимый массовый расход раствора:

$$Q_M = Q / C_p \Delta T = 2,295 * 10^6 / (4,18 * 80) = 6863 \text{ кг/ч}$$

$$\Delta T = 100 - 20 = 80^\circ \text{C}$$

5. Переведем полученный массовый расход в объемный. Примем плотность бурового раствора $\rho = 1000$ кг/м³

$$Q_v = Q_M / \rho = 6863 / 1000 = 6,86 \text{ м}^3/\text{ч} = (6,86 * 1000) / 3600 = 1,9 \text{ л/с}$$

Для эффективного охлаждения долота и очистки забоя минимальный расход бурового раствора обычно составляет от 1,5 до 2,5 л/с на каждые 100 мм диаметра долота.

Однако на практике ориентируются не только на объем, но и на скорость восходящего потока в затрубном пространстве. Глинистый раствор за счет вязкости лучше держит шлам, чтобы шлам не оседал и долото не перегревалось, при бурении водой скорость должна быть равной 0,6-0,9 м/с.

6. Определим скорость в затрубном пространстве:

$$v = \frac{1274 * Q}{D^2 - d^2} = \frac{1274 * 1,9}{93^2 - 73^2} = 0,73 \text{ м/с}$$

Скорость 0,73 м/с – это оптимальный показатель для большинства условий бурения:

1. Охлаждение: поток достаточен для эффективного отвода тепла от долота, даже при высоких оборотах.

2. Очистка: 0,73 м/с – скорость выше рекомендуемого минимума (0,6 м/с), что гарантирует полный вынос шлама на поверхность, даже при использовании технической воды без добавок.

3. Гидравлика: Соппротивление в затрубном пространстве умеренное, что снижает риск поглощения раствора и перегрузки насоса.

4. Термодинамика: Подача бурового раствора 1,9 л/с предотвращает перегрев долота и обеспечивает нормальное функционирование процесса бурения.

Данная комбинация инструмента (D=93мм, d=73мм) при расходе $Q_v = 1,9$ л/с является технически грамотной и безопасной.

Методы контроля энергетической эффективности

Эффективность бурения тесно связана с количеством используемой энергии и качеством ее перераспределения. Традиционные показатели энергоэффективности включают расчет затрат энергии на единицу объема вскрытой породы, измеряемый отношением потребленной электрической или химической энергии к объему извлекаемых пород. Энергосберегающие технологии, такие как повышение скорости вращения бурильных головок или внедрение улучшенных схем циркуляции промывочного агента, позволяют существенно сократить общие расходы энергии на проведение буровых работ. Анализ множества вариантов проектирования скважин свидетельствует о зависимости успешности проекта от учета особенностей энергетического баланса системы «буровая установка – скважина». Один из характерных случаев – разработка методов снижения гидродинамического сопротивления в сложных геологических условиях. Решение этой задачи предполагает оптимальное распределение нагрузки на инструмент

и выбор режима подачи растворов таким образом, чтобы свести к минимуму потери энергии.

Еще одним фактором, влияющим на эффективность бурения, являются потери энергии при прокачке бурового раствора по кольцевому пространству вокруг бурильной трубы. Эти потери связаны с эффектом трения жидкости о стенки ствола и препятствия, возникающие при прохождении потока через сложную геометрию участка ствола.

Оптимизация процессов бурения с позиций термодинамики

Чтобы обеспечить высокую эффективность бурения и минимизировать негативные последствия повышенного нагрева и истирания материала, специалисты предлагают ряд инноваций, направленных на управление термодинамическими процессами:

- Использование высокотехнологичных композитных материалов для изготовления бурильных коронок и труб.
- Автоматизация системы замера параметров бурения (температура, давление, нагрузка).
- Создание специализированных вычислительных моделей, позволяющих моделировать потоки и температуру в скважинах.

Благодаря современным методикам возможно создание рациональных схем проведения буровых работ, обеспечивающих минимальные затраты энергии и длительную эксплуатацию оборудования.

Заключение

Подводя итог, отметим, что первое начало термодинамики определяет базовые принципы поведения энергии в ходе технологического цикла бурения скважин. Его понимание позволяет выявить резервы повышения энергоэффективности, снизить производственные риски и разработать эффективные стратегии управления ресурсами. Комплексный подход, объединяющий знания термодинамики и современные инженерные решения, позволит значительно увеличить производительность и долговечность оборудования, повысив рентабельность нефтегазовых проектов. Разработка инновационных методов бурения должна включать обязательное исследование термодинамических процессов, что обеспечит устойчивость и конкурентоспособность отечественного сектора нефтегазодобычи.

Список литературы:

1. Бабаян Э.В. Инженерные расчеты при бурении / Э.В.Бабаян, А.В.Черненко – Вологда: Инфра-Инженерия, 2016.-440 с.

2. Бабаян Э.В. Буровая гидравлика: Учебное пособие / Э.В.Бабаян – Вологда: Инфра-Инженерия, 2018.-156 с.
3. Вадецкий Ю.В. Бурение нефтяных и газовых скважин: учебник для нач. проф. образования/– 7-е изд., стер.-М.:Издательский центр «Академия», 2013
4. Лахмаков В.С. Основы теплотехники и гидравлики: учебное пособие / В.С.Лахмаков, В.А.Коротинский. – Минск: РИПО, 2019.-220 с.

ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ МАҚАЛАЛАР

1-БӨЛІМ.

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР

1.1. АДАМ ҚЫЗМЕТІНІҢ ҚАУІПСІЗДІГІ

ЙОГУРТТЫҢ САПАСЫ МЕН ҚАУІПСІЗДІГІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУ

Бейсенбекова Зауреш Нагаибековна

*6B07511 – «Өндірістегі стандарттау және сапа менеджменті» білім беру бағдарламасының студенті, Тараз университеті
Қазақстан, Тараз*

Оразғалиев Думан

*6B07511 – «Өндірістегі стандарттау және сапа менеджменті» білім беру бағдарламасының студенті,
Тараз университеті
Қазақстан, Тараз*

Оңлабекова Айнуր Тургынбековна

*PhD, «Текстиль, материалтану және стандартизация» кафедрасының қауымдастырылған профессоры,
М.Х.Дулати атындағы Тараз университеті,
Қазақстан, Тараз*

Андатпа. Мақалада йогурт өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігін бағалау мәселелері қарастырылған. Йогурт өндірісінің технологиялық

ерекшеліктері және өнім сапасына әсер ететін негізгі факторлар талданды. Сонымен қатар өнімнің органолептикалық, физика-химиялық және микробиологиялық көрсеткіштері сипатталды. Йогурт қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі техникалық регламенттер мен НАССР жүйесінің маңызы көрсетілді.

Түйін сөздер: йогурт, сапа, стандарт, қауіпсіздік, техникалық регламент.

Қазіргі таңда тағам өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселесі әлемдік деңгейде маңызды ғылыми және практикалық міндеттердің бірі болып табылады. Халық санының өсуі, азық-түлік өндірісінің қарқынды дамуы және өнімдердің халықаралық саудасының кеңеюі тағам өнімдерінің сапасына қойылатын талаптардың күшеюіне әкелді. Осыған байланысты тұтынушылардың қауіпсіз және сапалы өнімге деген сұранысы артып отыр.

Сүт және сүт өнімдері адам ағзасының қалыпты дамуы үшін қажетті негізгі тағам өнімдерінің қатарына жатады [1]. Сүт өнімдері құрамында жоғары биологиялық құндылыққа ие ақуыздар, майлар, минералды заттар, дәрумендер және пайдалы микроорганизмдер бар. Солардың ішінде йогурт – функционалдық қасиеттері жоғары ашытылған сүт өнімі ретінде кеңінен қолданылады.

Йогурт – арнайы сүтқышқылды бактериялар арқылы ашыту нәтижесінде алынатын тағам өнімі. Йогурт өндірісінде негізінен *Lactobacillus bulgaricus* және *Streptococcus thermophilus* бактериялары қолданылады [2]. Бұл микроорганизмдер сүттің ашу процесін қамтамасыз етіп, өнімнің ерекше дәмін, консистенциясын және биологиялық қасиеттерін қалыптастырады.

Йогурт өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігі көптеген факторларға байланысты қалыптасады. Олардың ішінде шикізат сапасы, өндіріс технологиясы, санитарлық-гигиеналық жағдайлар, сақтау режимі және тасымалдау шарттары маңызды рөл атқарады. Сондықтан йогурт өнімдерінің сапасын кешенді түрде бағалау ғылыми зерттеулердің маңызды бағыты болып табылады.

Сүт және сүт өнімдерінің қауіпсіздігі Еуразиялық экономикалық одақ елдерінде ТР ТС 033/2013 «Сүт және сүт өнімдерінің қауіпсіздігі туралы» техникалық регламентімен реттеледі [3]. Сонымен қатар тағам өнімдерінің жалпы қауіпсіздігі ТР ТС 021/2011 «Тағам өнімдерінің қауіпсіздігі туралы» техникалық регламентімен анықталады [4].

Осыған байланысты йогурт өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігін ғылыми тұрғыдан зерттеу, олардың сапа көрсеткіштерін талдау және бағалау қазіргі таңда өзекті ғылыми мәселелердің бірі болып табылады.

Зерттеу мақсаты болып йогурт өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігін талдау және бағалау, сондай-ақ өнім сапасына әсер ететін негізгі факторларды анықтау болып табылды.

Йогурт өнімдерінің сапасы бірнеше негізгі факторлардың әсерінен қалыптасады. Ең алдымен өнім сапасы қолданылатын шикізаттың сапасына байланысты. Йогурт өндірісінде негізгі шикізат ретінде пастерленген сиыр сүті пайдаланылады.

Сүттің химиялық құрамы мен микробиологиялық жағдайы дайын өнімнің сапасына тікелей әсер етеді. Егер шикізат сапасы төмен болса, дайын өнімнің сапасы да төмен болады.

Йогурт өндірісінің негізгі технологиялық кезеңдері келесідей: шикізатты қабылдау; пастерлеу; гомогенизация; ашыту; салқындату; қаптау [2].

Пастерлеу процесі сүт құрамындағы патогенді микроорганизмдерді жою мақсатында жүргізіледі. Бұл процесс өнімнің микробиологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Ашыту процесі кезінде арнайы бактериялық мәдениеттер қолданылады. Бұл микроорганизмдер сүт құрамындағы лактозаны сүт қышқылына айналдырып, өнімнің қышқылдық деңгейін арттырады.

Ғылыми зерттеулер көрсеткендей, ашыту процесінің ұзақтығы мен температурасы йогурттың сапасына айтарлықтай әсер етеді [2].

Йогурт өнімдерінің сапасын бағалау көрсеткіштері

Йогурт сапасын бағалау кезінде келесі көрсеткіштер қарастырылады: органолептикалық көрсеткіштер; физика-химиялық көрсеткіштер; микробиологиялық көрсеткіштер.

Органолептикалық көрсеткіштерге өнімнің сыртқы түрі, түсі, дәмі және иісі жатады.

ГОСТ 31981-2013 стандартына сәйкес йогурттың консистенциясы біртекті және крем тәрізді болуы тиіс. Өнімнің дәмі мен иісі ашытылған сүтке тән болуы керек [5].

Физика-химиялық көрсеткіштерге мыналар жатады:

- май мөлшері
- ақуыз мөлшері
- қышқылдық деңгейі
- құрғақ заттардың мөлшері

Бұл көрсеткіштер өнімнің тағамдық құндылығын анықтайды.

Микробиологиялық көрсеткіштер өнімнің қауіпсіздігін бағалауда маңызды рөл атқарады. Йогурт құрамында пайдалы микроорганизмдер болуы тиіс, бірақ патогенді бактериялардың болуына жол берілмейді.

Йогурт өнімдерінің қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін өндіріс процесінде санитарлық-гигиеналық талаптарды сақтау қажет [6].

Өнім қауіпсіздігін қамтамасыз етудің маңызды құралдарының бірі – НАССР жүйесі. НАССР жүйесі өндіріс процесіндегі қауіпті факторларды анықтап, оларды бақылау арқылы өнім қауіпсіздігін арттыруға мүмкіндік береді [7].

НАССР жүйесі келесі негізгі принциптерге негізделген:

- қауіпті факторларды талдау
- сыни бақылау нүктелерін анықтау
- бақылау жүйесін енгізу
- түзету шараларын қолдану

Сонымен қатар өнімнің қауіпсіздігін қамтамасыз етуде сақтау температурасының сақталуы маңызды рөл атқарады.

Йогурт өнімдері әдетте 2–6 °С температурада сақталуы тиіс. Температура режимінің бұзылуы өнім сапасының төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Йогурт – жоғары тағамдық құндылығы бар өнімдердің бірі.

Йогурт құрамында: кальций; фосфор; магний; В тобы дәрумендері бар.

Бұл элементтер адам ағзасының қалыпты дамуы үшін маңызды.

Йогурт құрамындағы пробиотикалық бактериялар ішек микрофлорасын қалыпқа келтіруге көмектеседі және ас қорыту процесін жақсартады.

Қазіргі уақытта йогурт өнімдерінің ассортименті кеңейіп келеді. Өндірушілер әртүрлі жеміс қоспалары мен пробиотиктер қосылған өнімдер шығарады.

Бұл өнімдердің тұтынушылық қасиеттерін арттыруға мүмкіндік береді.

Йогурт – жоғары биологиялық құндылығы бар ашытылған сүт өнімі болып табылады. Оның құрамында пайдалы микроорганизмдер, ақуыздар, дәрумендер және минералды заттар бар [8].

Жүргізілген талдау нәтижесінде йогурт өнімдерінің сапасы көптеген факторларға байланысты қалыптасатыны анықталды. Олардың ішінде шикізат сапасы, өндіріс технологиясы, санитарлық-гигиеналық талаптардың сақталуы және сақтау режимі маңызды рөл атқарады.

Йогурт өнімдерінің қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін техникалық регламенттердің талаптарын сақтау және сапа менеджменті жүйелерін енгізу қажет.

НАССР жүйесін қолдану өнім қауіпсіздігін арттыруға және тұтынушылар денсаулығын қорғауға мүмкіндік береді.

Қорыта айтқанда, йогурт өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігін бақылау халықты сапалы және қауіпсіз тағам өнімдерімен қамтамасыз етудің маңызды шарты болып табылады.

Әдебиеттер тізімі:

1. Николаева М.А. Теоретические основы товароведения и экспертизы товаров: учебник: в 2 ч. / М.А. Николаева. – Москва: Издательство «ИНФРА-М», 2014.– 368 с.
2. Тамиме А.Ю., Робинсон Р.К. Технология йогурта. – Москва: Пищевая промышленность, 2015. – 320 с.
3. ТР ТС 033/2013. О безопасности молока и молочной продукции
4. ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции.
5. ГОСТ 31981–2013. Йогурты. Общие технические условия
6. Рогов И.А. Технология молока и молочных продуктов. – Москва: КолосС, 2017. – 456 с.
7. Кузнецов В.В. Микробиология молока и молочных продуктов. – Москва: Агропромиздат, 2016. – 352 с.
8. Садықов Б.А. Сүт өнімдерінің сапасын бақылау әдістері. – Алматы: Агроуниверситет баспасы, 2019. – 210 б.
9. Жақыпбеков К.С. Тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі. – Алматы: Қазақ университеті, 2020. – 245 б.

1.2. ИНФОРМАТИКА, КОМПЬЮТЕР ТЕХНИКАСЫ ЖӘНЕ БАСҚАРУ

ЗАМАНАУИ ІТ-ТЕХНОЛОГИЯЛАР НЕГІЗІНДЕГІ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІ

Алмагамбетов Азамат Сагиевич

*Баишев Университет студенті,
Қазақстан, Ақтөбе*

Ермеков Диас Бауыржанұлы

*Баишев Университет студенті,
Қазақстан, Ақтөбе*

Қайырова Жумагул Қайруллаевна

*ғылыми директор,
Баишев Университеттегі техникалық
ғылымдардың магистрі, білім саласындағы
аға оқытушысы,
Қазақстан, Ақтөбе*

CONTROL SYSTEMS BASED ON MODERN IT– TECHNOLOGIES

Almagambetov Azamat Sagievich

*Student of
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Ermekov Dias Bauyrzhanuly

*Student of
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Kairova Zhumagul Kairullaevna

Scientific Supervisor,

*Master of Technical Sciences,
Senior Lecturer in the field of education in
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Аңдатпа. Заманауи мұнай-газ саласы жаңа сын-қатерлерге тап болуда: энергия ресурстары бағасының төмендеуі, қауіпсіздік талаптарының күшеюі, білікті кадрлар тапшылығы және экономикалық тиімділікті арттыру қажеттілігі. Осы жағдайларда цифрлық трансформация мен автоматтандыру дамудың негізгі құралдарына айналуда. Мақалада өндірістік үдерістерді жаңғыртудың негізгі бағыттары қарастырылады: өнеркәсіптік заттар интернетін (IIoT), бұлттық технологияларды, мобильді қосымшаларды, қашықтан мониторинг жүргізуді және киберқауіпсіздік жүйелерін енгізу.

Abstract. The modern oil and gas industry faces new challenges, including declining energy prices, increasing safety requirements, a shortage of qualified personal, and the need to improve economic efficiency. In this context digital transformation and automation have been becoming key tools for development. This article examines the main directions of production modernization, including the implementation of the industrial internet of things (IIoT), cloud technologies, mobile applications, remote monitoring, and cybersecurity systems.

Түйін сөздер: цифрландыру трансформациясы, өнеркәсіптік заттар интернеті (IIoT), киберфизикалық жүйелер, бұлттық технологиялар, үлкен деректер, цифрлық платформа, энергия тиімділігі, шығындарды онтайландыру.

Keywords: Digital transformation, Industry, Industrial internet of things (IIoT), Cyber-physical systems (CPS), Cloud Technologies, Big Data, Digital platform, Energy Efficiency, Cost optimization, Remote monitoring, Predictive analytics, Modular architecture.

Энергия ресурстары бағасының төмендеуі, қауіпсіздік пен тиімділік талаптарының артуы, сондай-ақ білікті кадрлар тапшылығы мұнай-газ компанияларын зияткерлік автоматтандыру жүйелерін, цифрлық платформаларды және киберқорғанысты жедел енгізуге ынталандырады. Заманауи технологиялар тек технологиялық үдерістерді басқаруға ғана емес, сонымен қатар кәсіпорындардың экономикалық көрсеткіштеріне тікелей әсер етуге мүмкіндік береді. Жаһандық бәсекелестік жағдайында автоматтандыру өнімділікті арттырудың, шығындарды азайтудың және тәуекелдерді төмендетудің

стратегиялық құралына айналуға. Мұнай-газ саласы цифрландырудың әлемдік үрдістері аясында дамып келеді:

1.Өнеркәсіптік заттар интернеті (IIoT). Зияткерлік датчиктер мен құрылғылар бірыңғай желіге біріктіріліп, деректерді нақты уақыт режимінде жеткізеді. Мұнай өңдеу саласында қысым, температура және ысырмалардың жай-күйін бақылау өнім шығаруды 3–5%-ға арттырып, тоқтап қалуларды қысқартады. Мысалы, «ҚазМұнайГаз» АҚ зауыттарында датчиктер қондырғылардың тиімділігін арттыруға ықпал етеді. Энергетикада Алматы мен Астанадағы «ақылды» қосалқы станциялар жүктемені автоматты түрде реттейді. Ауыл шаруашылығында Оңтүстік Қазақстандағы фермерлік шаруашылықтар IoT жүйелері арқылы топырақ ылғалдылығын бақылап, тамшылатып суаруды басқарады.

2.Бұлттық технологиялар.Серверлер мен бағдарламалық шешімдерді бұлтқа көшіру капиталдық шығындарды азайтып, өзекті деректерге қолжетімділікті қамтамасыз етеді. Мұнай-газ саласында Маңғыстау кен орындары бұлттық платформалар арқылы қашықтан мониторинг жүргізеді. Қаржы секторында «Halyk Bank» және «Kaspi Bank» транзакцияларды өңдеу мен деректерді сақтау үшін бұлттық шешімдерді қолданады. Логистикада ұлттық көлік компаниялары қойма қорлары мен маршруттарды орталықтандырылған түрде басқарады.

3.Мобильді шешімдер.Смартфондар мен планшеттер өндірістік жүйелерге интеграциялануда. Павлодар және Атырау мұнай өңдеу зауыттарында операторлар планшет арқылы апаттық ауытқулар жөнінде хабарлама алып, үдерістерді талдайды. Құрылыста EXPO 2017 инфрақұрылымын салу кезінде BIM-мобильді қосымшалар қолданылды. Медицинада Алматы және Астана қалаларындағы орталықтарда дәрігерлер науқастардың мониторинг деректерін нақты уақытта алады.

4.Қашықтан басқару және цифрлық ынтымақтастық. Сарапшылар объектілерге қашықтан қосылады. Каспий теңізіндегі мұнай кен орындарында жабдықтарға қашықтан диагностика жүргізіледі. «Air Astana» әуе компаниясы қозғалтқыш параметрлерін қашықтан талдау жүйелерін пайдаланады. Қазақстандық IT-компаниялар жобаларды онлайн-платформалар арқылы жүзеге асырады.

5.Тиімділік пен табысты басқару.Заманауи операторлық панельдер технологиялық және экономикалық көрсеткіштерді біріктіреді. «Петрохим Алматы» кәсіпорнында энергия тұтыну мен өнімнің өзіндік құны біріктіріліп бақыланады. «АрселорМиттал Темиртау» пештердің жүктемесін және шикізат шығынын

оңтайландырады. Ритейл секторында «Magnum» және «Small» аналитикалық панельдерді қолданады.

6.Персоналды цифрлық оқыту.Авиацияда ұшқыштарға арналған тренажерлар пайдаланылады. «Air Astana» оқу орталығында симуляторлар бар. Машина жасауда VR арқылы жинақтау операцияларын оқыту жүзеге асырылуда. «ҚазМұнайГаз» базасында АСУ ТП операторларына арналған имитациялық тренажерлар қолданылады.

7.Өндірісті тоқтатпай жаңғырту.Компаниялар толық ауыстырудан гөрі кезең-кезеңімен интеграциялауға көшуде. Павлодар МӨЗ-де АСУ ТП жаңғыртуы өндірісті тоқтатпай жүргізілді. Алматы және Астана ЖЭО-ларында контроллерлер кезең-кезеңімен ауыстырылуда. Теміржол учаскелерінде сигнализация қозғалысты тоқтатпай жаңартылуда.

8.Жобалауды оңтайландыру.Модульдік шешімдер мен типтік кітапханалар автоматтандыруды жеделдетеді. Маңғыстау облысындағы мұнай дайындау қондырғылары типтік жобалар негізінде салынуда. Нұр-Сұлтан мен Алматыда модульдік ғимараттар кеңінен қолданылуда. IT-салада корпоративтік және мемлекеттік платформаларда үлгілік архитектуралар пайдаланылады.

9.Өнеркәсіптік нысандардың киберқауіпсіздігі.Цифрландырудың өсуі кибершабуыл тәуекелдерін арттырады. «ҚазТрансОйл» және «ҚазМұнайГаз» нысандарында кибертәуекелдерді мониторингтеу жүйелері енгізілген. Қаржы секторында «Halyk Bank» пен «Kaspi Bank» антифрод-платформаларды қолданады. Мемлекеттік жүйелерде киберинциденттерге әрекет ету орталықтары жұмыс істейді. Аталған бағыттардың ішінде Қазақстанда кең ауқымда әлі толық енгізілмеген технология – персоналды VR/AR және имитациялық тренажерлар арқылы цифрлық оқыту. Негізгі себептері: енгізудің жоғары құны, сапалы контент пен білікті әзірлеушілердің жетіспеушілігі, шағын және орта кәсіпорындардың мотивациясының төмендігі. Ірі компанияларда, соның ішінде «ҚазМұнайГаз» және «Air Astana» жобалар бар, бірақ ауқымды қолдану әлі қалыптаспаған.

Қорытындылай келе, мұнай-газ саласындағы автоматтандыру қосымша құрал болудан қалып, бизнестің тұрақтылығының негізгі факторына айналды. IoT, бұлттық технологиялар, мобильді шешімдер, цифрлық оқыту және киберқауіпсіздік интеграциясы басқарудың жаңа моделін қалыптастырады – ол тек технологиялық үдерістерді бақылауға емес, кәсіпорынның табыстылығы мен бәсекеге қабілеттілігін арттыруға бағытталған. Енгізіліп жатқан технологиялардың шығындарды үнемдеу, өнімділікті арттыру, апаттылықты төмендету

бойынша сандық экономикалық көрсеткіштері, сондай-ақ шағын және орта кәсіпорындардағы инновацияларды енгізу кедергілерінің егжей-тегжейлі талдауы 1–2-кестелерде келтірілген.

Кесте 1.

Қазіргі IT-технологияларға негізделген басқару жүйелері

№	Технология	Қазақстанда қолданысы	Экономикалық көрсеткіші	Тиімділігі
1	Өнеркәсіптік заттар интернеті (IIoT)	Мұнай өңдеу, энергетика, ауыл шаруашылығы	– Өнім шығару өсімі: ЖҚС +3–5% – Тоқтап қалуларды азайту: 10–15% дейін – Қосалқы станцияларда энергия шығынын азайту: 5–8%	«ҚазМұнайГаз» АҚ – қысым мен температураны бақылау тоқтап қалуларды азайтады; Алматы мен Астанадағы «ақылды» подстанциялар – жүктемені оңтайландыру, электр энергиясын үнемдеу; Оңтүстік Қазақстан фермерлері – су шығындарын 20% дейін азайту
2	Бұлтты технологиялар	«ҚазМұнайГаз» ұнай-газ, банктер, логистика	– IT капиталдық шығындарды азайту: 20–30% – Деректерді өңдеуді жеделдету: 2–3 есе. – Объектілерді мониторингтеуді қысқарту: 30–40%	Маңғыстау кен орнын қашықтан бақылау. Nalyk Bank/Kaspi – транзакциялар үшін бұлтты платформалар; логистикалық компаниялар – қойманы орталықтан басқару
3	Мобильді шешімдер	Мұнай өңдеу зауыты, құрылыс, медицина	– Апаика реакция уақытын 50% дейін қысқарту. – Процестерді бақылауды: 20%	Павлодар және Атырау НПЗ – апат туралы хабарландыру; EXPO 2017 – ВІМ-мониторинг; медицина – наукастарды

№	Технология	Қазақстанда қолданысы	Экономикалық көрсеткіші	Тиімділігі
			дейін Қате менн тоқтауды азайту.	нақты уақыт режимінде бақылау.
4	Қашықтықтан басқару мен цифрлық ынтымақ	Теңіз платформасы, авиация, IT	– Ис-сапар мен пайдалану шығынын 15–25%-ға азайту. – Диагностика мен талдауды жеделдету: 2 есе.	Каспий кен орны – қашықтықтан диагностика; «Air Astana» қозғалтқышты қашықтан талдау; IT-компаниялар – онлайн жоба
5	Тиімділік	Мұнай-химия, металлургия, сауда	– Энергияны пайдалану тиімділігін оңтайландыру: 5–10% – Өнімнің өзіндік құнын азайту: 3–7% – Маржиналдылықты арттыру: 2–5%	«Петрохим Алматы» – өзіндік құнды бақылау; «АрселорМиттал Теміртау» АҚ – пештерді оңтайландыру; Magnum желілері – маржиналдылық аналитикасы
6	Цифрлық білім алу	Мұнай – газ, авиация, машина жасау	– Оқыту уақытын қысқарту: 40–50% дейін – Оператор қателерін азайту: 20–30%	«ҚазМұнайГаз», «Air Astana» VR-симуляторы; Алматы/Ақтөбе машина жасау.
7	Өндірісті тоқтатпай модернизациялау	Мұнай өңдеу зауыты, электр станциясы, көлік	– Тоқтаудан келетін шығындарды азайту: 10–15% дейін – Жаңа жүйелерді	Павлодар МӨЗ-де АСУ ТП модернизациясы тоқтатпай жүргізіледі; Алматы/Астана ТЭЦ – контроллерлерді кезек-кезеңімен ауыстыру; темір жол –

№	Технология	Қазақстанда қолданысы	Экономикалық көрсеткіші	Тиімділігі
			енгізуді жеделдету: 20–30%	сигнализацияны жаңарту тоқтатпай
8	Жобалауды оңтайландыру	Мұнай – газ, құрылыс, IT	– Енгізу мерзімін қысқарту: 20–40% – Жобалау шығындарын азайту: 10–15%	Маңғыстау кен орнында типтік жобалар. Нұр-Сұлтан/Алматыда модульдік ғимараттар. IT – платформалар архитектурасы
9	Өнеркәсіп объектілерінің киберқауіпсіздігі	Энергетика, банктер, мемлекеттік құрылымдар	– Қаржылық шығындар мен апат тәуекелін азайту: 5–15% – Инциденттер санын азайту: 50% дейін	«ҚазТрансОйл», «ҚазМұнайГаз» нысандарында кибертәуекелдерді мониторингтеу. Halyk Bank/Kaspi – антифрод платформалар; киберинциденттерге әрекет ету орталықтары

Кесте 2.

Шағын және орташа бизнес

№	Кедергі санаты	Сипаттамасы	ШОБ-қа әсер ету мысалдары
1	Қаржылық	Жабдықтардың, бағдарламалық қамтамасыз етудің, лицензиялар мен оқытудың жоғары құны	VR/AR немесе IoT датчиктері қымбат; шағын фермерлік шаруашылықтар немесе шағын зауыттарда инвестиция жасауға капитал жеткіліксіз
2	Технологиялық	Жаңа және қолданыстағы	Бұлтты және мобильді шешімдер тұрақты интернет пен үйлесімді

№	Кедергі санаты	Сипаттамасы	ШОБ-қа әсер ету мысалдары
		инфрақұрылымның үйлесімділігі	құрылғыларды талап етеді; ескірген жабдықтар ПоТ-пен үйлеспеуі мүмкін
3	Кадрлық	Маман тапшылығы	Инженерлер, бағдарламашылар және VR-әзірлеушілер жетіспейді; қызметкерлерді оқыту уақыт пен ресурстарды талап етеді
4	Ұйымдастырушылық	Өндірістегі қарсылық	ШОБ басшылары тікелей пайданы көрмейді, тәуекелдерден қорқады; қызметкерлер үйреншікті үдерістерді өзгерткісі келмейді
5	Ретеушілік және нормативтік	Деректерді жинау мен сақтауға қойылатын шектеулер, қауіпсіздік стандарттары	Мұнай-газ немесе қаржы салаларында қатаң талаптар бар; ШОБ үшін деректерді қорғау талаптарына сәйкестік қиын Мұнай-газ, қаржыдағы талаптар. ШОБ үшін деректерді сақтау.
6	Мәдени және ақпараттық	Заманауи АКТ және олардың артықшылықтары туралы білімнің жеткіліксіздігі	ШОБ ПоТ, бұлтты және мобильді жүйелердің артықшылықтарын білмейді; өңірде сәтті тәжірибелердің болмауы сенімді төмендетеді

Әдебиеттер тізімі:

1. Ақпараттық жүйелер мен технологиялар экономика және басқаруда : бакалаврларға арналған оқулық / Трофимов В. В., Ильина О. П., Киев В. И., Приходченко А. П., Трофимова Е. В. – Мәскеу : «Юрайт» баспасы, 2014. – 542 б. – ISBN 978-5-9916-3608-7.

2. Ақпараттық жүйелер мен технологиялар экономиканы басқаруда: оқулық, 1-бөлім / Трофимов В. В. – Мәскеу: «You write», 2024. – 375 б. – ISBN 978-5-534-09090-1.
3. Ақпараттық технологиялар мен жасанды ителлектіні басқару: оқулық / Джураева А. – Мәскеу: Ridero, 2024. – 462 б. – ISBN 978-5-0064-2208-7.
4. Ақпараттық технологиялар мен кәсіпорынды басқару : оқулық / Попов Ю.И.. – Мәскеу: «Профобразование», 2024. – ISBN 978-5-4488-0086-3.

АВТОМАТИКА ЖӘНЕ ЭКОНОМИКА ДАМУЫНДАҒЫ САНДЫҚ ЖҮЙЕЛЕР

Булатов Бейбарыс Саматұлы

*Баишев Университет студенті,
Қазақстан, Ақтөбе*

Утесинов Данияр Мақсатұлы

*Баишев Университет студенті,
Қазақстан, Ақтөбе*

Кайырова Жумагул Кайруллаевна

*ғылыми директор,
Баишев Университеттегі техникалық
ғылымдардың магистрі, білім саласындағы
аға оқытушысы,
Қазақстан, Ақтөбе*

AUTOMATION AND DIGITAL SYSTEMS IN ECONOMIC DEVELOPMENT

Bulatov Beibarys Samatuly

*Student of
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Utesinov Daniar Maksatuly

*Student of
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Kairova Zhumagul Kairullaevna

*Scientific Supervisor, Master of Technical Sciences,
Senior Lecturer in the field of education in
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Аңдатпа. Мақалада әртүрлі экономикалық салаларда автоматтандыру құрылғылары, өнеркәсіптік электроника және интеллектуалды цифрлық жүйелерді қолдану мәселелері қарастырылады. Арнайы назар бағдарламаланатын логикалық контроллерлер, SCADA жүйелері, өнеркәсіптік заттар интернеті (IIoT), цифрлық егіздер және алдын ала қызмет көрсету (predictive maintenance) технологияларының Индустрия 4.0 тұжырымдамасы аясындағы интеграциясына аударылады. Энергетика, мұнай-газ өнеркәсібі, тау-кен кешені, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық және көлік инфрақұрылымы саласындағы әлемдік жетекші өндірушілердің қазіргі шешімдері талданған.

Abstract. The article examines the application of automation devices, industrial electronics, and intelligent digital systems across various sectors of the economy. Particular attention is paid to the integration of programmable logic controllers (PLCs), SCADA systems, the Industrial Internet of Things (IIoT), digital twins, and predictive maintenance technologies within the framework of Industry 4.0. An analysis of modern solutions provided by leading global manufacturers in the fields of energy, oil and gas, mining, housing and utilities, and transport infrastructure is presented. The practical significance of implementing Automated Process Control Systems (APCS) in the context of Kazakhstan's digital transformation is explored. It is demonstrated that the use of intelligent systems enhances energy efficiency, reduces technological losses, improves industrial safety, and minimizes environmental impact.

Түйін сөздер: Автоматтандыру, Цифрландыру, Интеллектуалды басқару жүйелері, Өнеркәсіптік электроника, АСУ ТП, SCADA жүйесі, Бағдарламаланатын логикалық контроллер (БЛК/PLC), IoT / IIoT (Өнеркәсіптік заттар интернеті), Индустрия 4.0, Цифрлық егіз, Алдын ала қызмет көрсету (predictive maintenance), Үлкен деректер (Big Data), Киберқауіпсіздік, ERP жүйесі, MES жүйесі, КИПИА, Энергия тиімділігі,

Ақылды инфрақұрылым, Интеллектуалды подстанциялар, Диспетчеризация, Метрология, Калибрлеу, Бұлтты технологиялар, Машиналық көру, Ақылды қала (Smart City), Энергоменеджмент.

Keywords: Automation, Digitalization, Intelligent control systems, Industrial electronics, Automated Process Control System (APCS), SCADA system, Programmable Logic Controller (PLC), IoT / IIoT (Industrial Internet of Things), Industry 4.0, Digital twin, Predictive maintenance, Big Data, Cybersecurity, ERP system (Enterprise Resource Planning), MES system (Manufacturing Execution System), Instrumentation and Control (I&C), Energy efficiency, Smart infrastructure, Intelligent substations, Dispatching control, Metrology, Calibration, Cloud technologies, Machine vision, Smart City, Energy management.

Қазіргі технологиялық дамудың кезеңі автоматтандыру, өнеркәсіптік электроника, бағдарламаланатын контроллерлер, сенсорлық желілер және бұлтты платформалардың интеграциясына негізделген интеллектуалды басқару жүйелеріне өтуімен сипатталады. Автоматтандыру қазір тек қол еңбегін алмастырумен шектелмейді – ол өндірістің цифрлық инфрақұрылымын қалыптастырады, технологиялық процестердің тұрақтылығын, энергия тиімділігін және қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Автоматтандыру саласындағы әлемдік брендтерді зерттеу көрсеткендей, бәсекеге қабілеттіліктің негізгі факторлары: цифрлық егіздер енгізу, алдын ала аналитика, өнеркәсіптік заттар интернеті (IIoT), киберқауіпсіздік және ERP/MES жүйелерімен интеграция.

Энергетика және өнеркәсіптік автоматтандыру: АВВ компаниясы энергетика мен өнеркәсіпті автоматтандырудың кешенді тәсілін көрсетеді. Оның шешімдеріне мыналар кіреді: подстанцияларды басқару жүйелері, интеллектуалды тарату құрылғылары, жиілікті түрлендіргіштер, роботтандырылған кешендер, энергия тұтынуды бақылаудың цифрлық платформалары. 1.Электр энергетикасы: Қазақстандағы электр желілерін кең көлемде модернизациялау жағдайында, Ақтөбедегі КЕГОС және аймақтық РЭК цифрлық подстанциялар мен қашықтықтан мониторинг жүйелерін енгізу арқылы аварияларды азайтуға, энергия шығынын төмендетуге және энергиямен қамтамасыз етудің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. 2.Тау-кен өнеркәсібі: «Қазақмыс», ERG, «АрселорМиттал Теміртау кәсіпорындарында автоматтандырылған жетектер, сынық өңдеу қондырғыларын басқару жүйелері және энергия тұтынуды цифрлық бақылау өндіріс циклдарын оңтайландыруға және пайдалану шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. 3.Мұнай-газ секторы: Теңіз,

Қарашығанақ, Қашаған жобаларында технологиялық процестерді автоматтандырылған басқару жүйелері (АСУ ТП) қолданылады, олар қысым, температура және ағым көлемін нақты уақыт режимінде бақылауды қамтамасыз етеді.

Төмен кернеулі электроника және электротехникалық қауіпсіздік: ABL SURSUM – интеллектуалды энергия тарату жүйелеріндегі төмен кернеулі жабдық: автоматты қосқыштар, УЗО, өнеркәсіптік қосқыштар, электр көліктерін зарядтау станциялары – ғимараттар мен өндірістік нысандардың қауіпсіз пайдалануының негізі болып табылады: Тұрғын үй-коммуналдық шаруашылықта негізінен тұрғын кешендердегі тарату панельдерін жаңарту қолданылады, Көлік инфрақұрылымында – Астана мен Алматыдағы электр көліктерін зарядтау станцияларын құру, Өнеркәсіптік кәсіпорындарда – электр жабдықтарын қысқа тұйықталу және шамадан тыс жүктемеден қорғау. Электротехникалық жүйелердің дамуы энергия тиімділігін арттыру және өрт қауіпін төмендетумен тығыз байланысты.

КИП және А технологияларын басқару: ABO Valve және ADCA – интеллектуалды құбыр арматурасы қазіргі замандағы құрылғы тек механикалық элементтер емес, ағындарды автоматтандырылған реттеу жүйесінің бөлігі болып табылады. Қысым, температура сенсорлары мен позиционерлермен клапандарды интеграциялау газ және сұйықтық ағынын автоматты түрде реттеуге, гидродарларды алдын алуға және авариялық режимдерді бақылауға мүмкіндік береді. Оларды қолдану мысалдары:

Алматы, Қарағанды қалаларында жылу жүйелерін автоматты реттеу, Газ тарату станцияларында табиғи газ жеткізуді бақылау, Су және канализация жүйесінде қысымды цифрлық бақылау және ағып кетулерді болдырмау. Бұл әсіресе тозған инфрақұрылымды модернизациялау үшін өзекті.

Өнеркәсіптік ЖИ және есептеу платформасы. ASME ACROSSER – цифрлық есептеу кешендері: Индустрия 4.0 дамуы қорғалған есептеу платформаларысыз мүмкін емес, олар күрделі климаттық жағдайларда жұмыс істей алады. Мұндай жүйелер қолданылады: өнеркәсіптік визуализация, машина көру, үлкен деректерді талдау, технологиялық процестерді модельдеу, цифрлық егіздер жасау. Қазіргі Қазақстан жағдайында бұл: Мұнай-газ кен орындары үшін (экстремалды температураларда жұмыс), Тау-кен карьерлері үшін (тозаң және діріл жүтемелері) Теміржол көлігі үшін (қозғалмалы құрамды диагностикалау жүйелері), Деректерді өңдеу орталықтары және мемлекеттік құрылымдар, Мобильді серверлік

станцияла жабдықты тікелей пайдалану орнында диагностикалауға мүмкіндік береді.

Цифрлық трансформацияның стратегиялық маңызы: Қазақстан үшін индустриялық-инновациялық даму жағдайында цифрлық трансформация стратегиялық мәнге ие. Интеллектуалды автоматтандыру жүйелерін енгізу өнеркәсіп қауіпсіздігін арттыруға, технологиялық шығындарды азайтуға, энергия тұтынуды оңтайландыруға, басқарудың ашықтығын қамтамасыз етуге, тұрақты даму мен экологиялық стандарттарды қолдауға ықпал етеді. Автоматика, электроника, IoT және жасанды интеллект интеграциясы «ақылды» кәсіпорындар, цифрлық подстанциялар, интеллектуалды транспорт жүйелері және энергия тиімді қалалардың негізін қалыптастырады.

Экономиалық тиімділік: Өнеркәсіп пен энергетикада интеллектуалды автоматтандыру жүйелерін енгізу өлшенетін экономикалық нәтижелер көрсетеді. Энергетикада цифрлық подстанциялар мен қашықтықтан мониторинг жүйелерін енгізу аварияларды 20–40% азайтуға, энергия шығынын 5–12% қысқартуға, пайдалану шығындарын 10–18% төмендетуге, аварияны локализациялауға жұмсалатын уақытты 30–50% қысқартуға мүмкіндік береді. Жабдықтың тозу деңгейі жоғары жүйелерде цифрландыру активтердің қызмет ету мерзімін 10–15% ұзартуға мүмкіндік береді. Тау-кен өнеркәсібінде автоматтандырылған жетектер, энергия тұтынуды цифрлық бақылау және технологиялық желілерді интеллектуалды басқару өнімділікті 8–15% арттыруға, бірлікке шаққандағы энергия тұтынуды 10–20% азайтуға, жабдық тоқтап қалуларын 15–25% қысқартуға, жөндеу және қызмет көрсету шығындарын 12–30% төмендетуге мүмкіндік береді. Алдын ала аналитика жүйелерін енгізу әсіресе маңызды, олар авария пайда болмас бұрын жабдық ақауларын анықтауға мүмкіндік береді. Мұнай-газ секторында онлайн мониторинг жүйелері технологиялық шығындарды 3–7% азайтуға, аварияларды 25–50% төмендетуге, жоспардан тыс жөндеу шығындарын 20% қысқартуға, шикізат пен энергетикалық ресурстар есебін 99,5% дәлдікпен жүргізуге мүмкіндік береді. Жоғары капиталомді жобаларда өңдеу тиімділігін 1–2% арттыру миллиондаған долларлық экономикалық әсер береді.

Энергия үнемдейтін LED-шешімдер: Интеллектуалды жарықтандыру жүйелерінде автоматты басқарумен бірге энергия тұтынуды 60–90% қысқарту, пайдалану шығындарын 40–70% азайту, 1,5–3 жыл ішінде инвестицияны қайтару, CO₂ шығарындыларын

30–50% қысқарту мүмкіндігі бар. Бұл муниципалды инфрақұрылымда бюджеттік жүктемені төмендетеді.

SCADA жүйелері және цифрлық диспетчеризация: операциялық персонал санын 10–25% -ға қысқарту, Ресурстар есебін жүргізу, Су мен жылудың болмауын 8–15% -ға төмендету, Объектілерді басқаруды оңтайландыру.

Шағын және орта кәсіпорындарды цифрландыру: Жоғары экономикалы тиімділіктен бөлек, шағын және орта кәсіпорындардың цифрландыру деңгейі шектеулі. Негізгі кедергілер: бастапқы жоғары шығындар, ұзақ мерзімді қаржыландыруға шектеулі қолжетімділік, кіші кәсіпорындар үшін ұзақ инвестиция қайтарымы. Цифрландыруға инвестициялар жылдық айналымның 10–30% болуы мүмкін, бұл маңызды кедергі. Кадр мәселелері: өнеркәсіптік автоматтандыру мамандарының жетіспеушілігі, персоналдың цифрлық білімі, сыртқы интеграторларға тәуелділік. Технологиялық тәуекелдер: ескі жабдықпен үйлесімділік, киберқауіптер, интеграция стандарттарының болмауы. Ұйымдастырушылық кедергілер: өзгерістерге қарсылық, цифрлық трансформацияның стратегиялық көрінісінің болмауы, кешенді интеграциясыз фрагменттік енгізу. Инфрақұрылымдық шектеулер: шалғай аймақтарда байланыс тұрақсыздығы, инженерлік инфрақұрылымның тозуы, импорттық жабдыққа тәуелділік.

Автоматика құралдары мен цифрлық жүйелерді қолдану эксплуатациялық шығындарды 30%-ға дейін төмендетуге, өнімділікті 15%-ға дейін арттыруға, аварияларды 50%-ға дейін азайтуға және энергия тұтынуды кейбір секторларда 90%-ға дейін қысқартуға мүмкіндік береді. Индустриялық-инновациялық даму жағдайында Қазақстанда цифрландыру тек технологиялық модернизация құралы ғана емес, макроэкономикалық тұрақтылық факторы болып табылады.

Әдебиеттер тізімі:

1. Энергетиканы цифрландыру – ҚР бағдарламалары. Энергетика министрлігі– Минэнерго РК, 2023.
2. «Цифрлық Қазақстан» бағдарламасы –ҚР үкіметі, 2018.
3. SCADA жүйелері және өнеркәсіптік автоматтандыру. Оқу құралы / ред. В.В. Коновалов. – М.: Академия, 2021.
4. Қазіргі автоматты басқару жүйелері – Огата Кацухино. – М.: Вильямс, 2015. – ISBN 978 5 8459 2250.
5. Қазіргі басқару жүйелері – Дорф Ричард, Бишоп Роберт. – М.: Білім лабораториясы, 2020.

**ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ТАСЫМАЛДАУ ПРОЦЕСІН
БАСҚАРУДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН
АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕЛЕРДІ ҚҰРУДЫҢ
ЖАЛПЫ ҚАҒИДАТТАРЫ**

Тлеубай Алижан Дарханұлы

*білім алушы,
Башиев Университет,
ҚР, Ақтөбе*

Бекетова Фариза Рустамовна

*білім алушы,
Башиев Университет,
ҚР, Ақтөбе*

Беркешева Асель Салимжанқызы

*ғылыми жетекшісі, т.ғ.к.,
қауымдастырылған профессор,
Башиев Университет,
ҚР, Ақтөбе*

**GENERAL PRINCIPLES OF BUILDING AUTOMATED
SYSTEMS USED IN THE MANAGEMENT
OF THE TRANSPORTATION PROCESS IN KAZAKHSTAN**

Tleubay Alizhan Darkhanovich

*Student,
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Beketova Fariza Rustamovna

*Student,
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Berkeshева Assel Salimzhanovna

*Scientific supervisor,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Аңдатпа. Қазақстан Республикасының көлік саласын цифрлық трансформациялау жағдайында тасымалдау процесін басқарудың автоматтандырылған жүйелері теміржол желісінің тиімділігін, қауіпсіздігін және өткізу қабілетін арттырудың негізгі құралына айналуға. Мақалада осындай жүйелерді құру қағидаттарына ұлттық инфрақұрылым ерекшеліктері, нормативтік талаптар және енгізу тәжірибесі ескеріле отырып талдау жүргізілген. Ерекше назар қазіргі уақытта теміржол көлігінің ұлттық операторы – «Қазақстан темір жолы» ҰК» АҚ қызметі аясында қолданылып жүрген нақты автоматтандырылған жүйелерге аударылған.

Abstract. In the context of digital transformation of the transport industry of the Republic of Kazakhstan, automated transportation process management systems are becoming the main means of increasing the efficiency, safety and throughput of the railway network. The article analyzes the principles of creating such systems, taking into account the peculiarities of National Infrastructure, regulatory requirements and implementation experience. Particular attention is paid to specific automated systems that are currently used within the framework of the activities of the national operator of Railway Transport – JSC "NC" Kazakhstan Temir Zholy".

Кілт сөздер: автоматтандырылған басқару жүйелері, тасымалдау процесі, цифрландыру, Қазақстанның теміржол көлігі, interlocking-жүйелер.

Keywords: automated control systems, transportation process, digitalization, railway transport of Kazakhstan, interlocking systems.

Қазақстанның теміржол көлігі Еуразия халықаралық көлік дәліздерінің маңызды буыны болып табылады. Ұзындығы 16 000 км-ден асатын теміржол желісі пайдалану үдерістерін оңтайландыруға, қозғалыс қауіпсіздігін арттыруға және жүк пен жолаушылар тасымалына сапалы қызмет көрсетуге мүмкіндік беретін заманауи ақпараттық басқару жүйелерін талап етеді.

Саланы цифрландыру теміржол желісінің ұлттық операторы – «Қазақстан темір жолы» ҰК» АҚ енгізіп отырған бағдарламалар аясында жүзеге асырылуға. Бұл бағдарламалар бақылау мен диспетчерлеуден бастап коммерциялық процестерді басқаруға дейінгі әртүрлі деңгейдегі автоматтандырылған жүйелерді қамтиды. Теміржол көлігіндегі тасымалдау процесі инфрақұрылым, жылжымалы құрам және ақпараттық ағындардың өзара әрекеттесуінің күрделілігімен сипатталады. Автоматтандырудың негізгі объектілеріне мыналар жатады: станциялар мен көлік тораптары; қозғалыс қарқындылығы

жоғары учаскелер; диспетчерлік басқару және байланыс орталықтары; сигнализация, орталықтандыру және блоктау жүйелері; жоспарлау және коммерциялық қызметтің корпоративтік ақпараттық жүйелері. Осы элементтерді автоматтандыру операциялардың ашықтығын қамтамасыз етіп, пайдалану көрсеткіштерін жақсартады және қауіпсіздік талаптарының сақталуына мүмкіндік береді.

1. Автоматтандырылған жүйелерді құрудың негізгі қағидаттары

Жүйелілік қағидаты. Автоматтандырылған жүйелер тасымалдау процесін басқару мақсатында деректерді жинау, өңдеу, сақтау және беру функцияларын жүзеге асыратын өзара байланысты модульдер кешені ретінде қарастырылады. Жүйелілік тәсіл желі, тораптар және локомотивтер деңгейіндегі инфрақұрылым ерекшеліктерін ескереді.

Басқарудың иерархиялық құрылымы. Басқару бірнеше деңгейде жүзеге асырылады: стратегиялық (ресурстар мен өткізу қабілетін жоспарлау); тактикалық (графиктерді, маршруттар мен кестелерді қалыптастыру); жедел (қозғалысты ағымдағы бақылау және диспетчерлік қызметтердің өзара әрекеті). Иерархиялық құрылым ішкі жүйелер арасындағы жүктемені тиімді бөлуге және сыртқы жағдайлар өзгерген кезде кешеннің тұрақты жұмысын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Сенімділік және қауіпсіздік қағидаты. Автоматтандырылған жүйелер келесілерді қамтамасыз етуі тиіс: жабдықтардың ақауға төзімділігі; деректерді беру арналарының қорғалуы; сыни функцияларға қол жеткізуді бақылау. Бұл іркілістердің алдын алу және пойыздар қозғалысының қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін қажет.

2. Қазақстанда қолданылатын автоматтандырылған жүйелердің мысалдары

Қазақстан теміржол желісінде теміржол көлігін цифрландыру бағдарламасы аясында енгізілген бірнеше нақты автоматтандырылған жүйелер пайдаланылады:

CTRL@LOCK 400 interlocking-жүйесі. Инфрақұрылымды басқарудың заманауи жүйелерінің бірі – CTRL@LOCK 400 компьютерлік блоктау және пойыздар қозғалысын басқару жүйесі. Ол 1520 мм жол табанына бейімделген және бағыттамалар мен сигналдарды автоматты түрде бақылау мен басқаруға арналған. Жүйе функционалдық қауіпсіздіктің жоғары деңгейін қамтамасыз етеді.

Wabtec компаниясының жылжымалы құрамды мониторингтеу жүйесі. Қозғалыс қауіпсіздігін арттыру және пайдалану тиімділігін жақсарту мақсатында Wabtec компаниясы жеткізетін локомотивтер мен вагондардың техникалық жағдайын бақылау жүйесі қолданылады. Бұл

жүйе жылжымалы құрамның техникалық жай-күйі туралы тәулік бойы деректер жинап, техникалық қызмет көрсетуді болжауға және тоқтап қалу уақытын азайтуға мүмкіндік береді.

«Келісімшарттық және коммерциялық жұмыс» автоматтандырылған жүйесі. Ұлттық оператордың жүк шаруашылығында басқарушылық және коммерциялық құжат айналымын автоматтандыруға арналған «Келісімшарттық және коммерциялық жұмыс» жүйесі енгізілген. Ол тасымалдауды жоспарлау, электрондық тасымалдау құжаттарын рәсімдеу және тарифтерді есептеу үшін «бірінғай электрондық терезе» қағидатын жүзеге асырады.

TETRA негізіндегі цифрлық байланыс жүйесі. Диспетчерлер, локомотив бригадалары және техникалық қызметтер арасындағы дауыс және цифрлық деректер алмасу үшін TETRA цифрлық радио жүйесі қолданылады. Ол маңызды ақпаратты сенімді жеткізуді және диспетчерлердің автоматтандырылған жұмыс орындарымен ықпалдасуды қамтамасыз етеді. Автоматтандырылған тасымалдауды басқару жүйелері бірнеше деңгейден тұрады: деректер деңгейі (сенсорлық құрылғылар, телеметрия, датчиктер); коммуникациялық деңгей (байланыс арналары, талшықты-оптикалық, цифрлық радиоканалдар); өңдеу және талдау деңгейі (серверлер, деректер базалары, аналитикалық модульдер); қолданбалы деңгей (диспетчерлер мен менеджерлерге арналған интерфейстер, есеп беру панельдері). Мұндай көпдеңгейлі құрылым икемділікті, қорғалу деңгейін және ауқымдауды қамтамасыз етеді.

Автоматтандырылған жүйелерді дамытудың перспективалы бағыттары мыналарды қамтиды: сұранысты болжау үшін жасанды интеллект және машиналық оқыту алгоритмдерін енгізу; процестерді модельдеу үшін инфрақұрылымның цифрлық егіздерін құру; халықаралық логистикалық платформалармен және кедендік бақылаудың автоматтандырылған жүйелерімен интеграциялау. Бұл бағыттар ресурстарды пайдалану тиімділігін арттыруға және тасымалдау қызметтерінің сапасын жақсартуға мүмкіндік береді.

Қазақстандағы тасымалдау процесін басқарудың автоматтандырылған жүйелері қазіргі заманғы көлік инфрақұрылымының ажырамас бөлігі болып табылады. Оларды құру жүйелілік, иерархиялық, модульдік, интеграциялық, сенімділік және қауіпсіздік қағидаттарына негізделеді. Қолданыстағы жүйелер – CTRL@LOCK 400, Wabtec компаниясының мониторинг жүйесі, коммерциялық жұмыс жүйелері және TETRA цифрлық байланысы – осы қағидаттардың ұлттық деңгейде іс жүзінде жүзеге асырылып отырғанын көрсетеді.

Мұндай кешенді тәсіл тасымалдаудың тиімділігі мен қауіпсіздігін арттыруға, Қазақстанның халықаралық көлік дәліздеріндегі транзиттік торап ретіндегі позициясын нығайтуға және көлік саласының тұрақты дамуына ықпал етеді.

Әдебиеттер тізімі:

1. Автандилов, Г.Р. Автоматизированные системы управления перевозками: теория и практика / Г.Р. Автандилов. – Москва: Транспорт, 2019. – 368 б.
2. Жолдасов, Е.Б. Цифровизация транспортных процессов в Республике Казахстан / Е.Б. Жолдасов // «Транспорт и связь» журналы. – 2024. – №2. – Б.45-58.
3. Бейсенбай, А.Ж. Информационные системы в управлении логистикой / А.Ж. Бейсенбай // ҚазҰТУ Хабаршысы. – 2023. – Т. 41, №4. – Б. 112-128.
4. Назарбаев, Д.Т. Интеллектуальные транспортные системы: методология и практика внедрения / Д.Т. Назарбаев. – Астана: ЛИНА, 2023. – 304 б.
5. Christopher, M. Logistics & Supply Chain Management / M. Christopher. – Harlow: Pearson Education, 2016. – 348 б.

1.3. ҚҰРАЛ ЖАСАУ, МЕТРОЛОГИЯ ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫҚ-ӨЛШЕУ ҚҰРАЛДАРЫ МЕН ЖҮЙЕЛЕРІ

ӨНДІРУ ЖӘНЕ ӨНДЕУ ПРОЦЕСТЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Нұрсұлтанов Дәулет Өтегенұлы

*білім алушы,
Баишев Университет,
Қазақстан, Ақтөбе*

Қайрат Мирболат

*білім алушы,
Баишев Университет,
Қазақстан, Ақтөбе*

Сартова Асима Мусаевна

*ғылыми жетекшісі, білім беру
саласындағы профессор ассистенті,
Баишев Университет,
Қазақстан, Ақтөбе*

OPTIMIZATION OF PRODUCTION AND PROCESSING PROCESSES

Daulet Otegenovich Nursultanov

*Student,
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Kairat Mirbolat

*Student,
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Sartova Asima Musaevna

*Scientific supervisor, Assistant Professor
in the field of Education,
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Аңдатпа. Мақалада мұнай-газ кешеніндегі өндіру және өңдеу процестерін оңтайландырудың заманауи бағыттары қарастырылған. Кен орындарының геологиялық жағдайының күрделенуі, дәстүрлі қорлардың сарқылуы және экологиялық талаптардың күшеюі өндірісті басқарудың жаңа технологиялық тәсілдерін енгізуді талап ететіні негізделген. Зерттеуде ұңғымалар қорын интеллектуалдандыру, датчиктер мен телеметрия жүйелерін пайдалану, машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану мәселелері талданады. Сонымен қатар қабатты гидродинамикалық модельдеу мен цифрлық егіздер технологиясының өндіру тиімділігін арттырудағы рөлі көрсетілген. Өңдеу процестерін оңтайландыру аясында шикізат сапасын басқару, ағындарды автоматты араластыру, тұзсыздандыру және тұрақтандыру режимдерін реттеу, онлайн-анализаторлар арқылы сапаны бақылау мәселелері қарастырылған. Технологиялық схемаларды жетілдіру және цифрлық интеграция негізінде «өндіру – тасымалдау – өңдеу» тізбегін кешенді басқару мүмкіндіктері айқындалған. Автоматтандырылған басқару жүйелерінің (АБЖ) өндірістегі стратегиялық маңызы көрсетіліп, SCADA және PLC негізіндегі басқару шешімдерінің тиімділігі сипатталған. Нәтижесінде цифрлық трансформация, жасанды интеллект элементтері және энергия үнемдеу технологиялары мұнай-газ кешенінің тұрақты дамуын қамтамасыз етудің негізгі құралдары екендігі тұжырымдалады.

Abstract. The article discusses modern directions of optimization of production and processing processes in the oil and gas complex. It is justified that the complication of the geological conditions of deposits, the depletion of traditional reserves and the intensification of environmental requirements require the introduction of new technological approaches to production management. The study analyzes the problems of intellectualization of well stock, the use of sensors and telemetry systems, the use of machine learning algorithms. The role of layered hydrodynamic modeling and digital twin technology in improving production efficiency is also shown. As part of the optimization of processing processes, issues of quality management of raw materials, regulation of modes of automatic mixing of flows, desalination and stabilization, quality control through online analyzers are considered. Based on the improvement of technological schemes and digital integration, the possibilities of integrated management of the production – transportation –

processing chain are identified. The strategic importance of automated control systems (ACS) in production is demonstrated and the effectiveness of control solutions based on SCADA and PLC is described. As a result, it is concluded that digital transformation, elements of artificial intelligence and energy-saving technologies are the main tools for ensuring the sustainable development of the oil and gas complex.

Кілт сөздер: мұнай-газ кешені, өндіру, өңдеу, оңтайландыру, цифрлық егіз, АБЖ, SCADA, энергия тиімділігі.

Keywords: oil and gas complex, production, processing, optimization, digital twin, ACS, SCADA, energy efficiency.

Мұнай-газ кешені экономиканың стратегиялық маңызды салаларының бірі болып табылады. Қазіргі уақытта кен орындарының геологиялық жағдайының күрделенуі, дәстүрлі қорлардың саркылуы және экологиялық талаптардың күшеюі өндірістік процестерді басқарудың жаңа тәсілдерін талап етеді. Осыған байланысты өндіру және өңдеу жүйелерін оңтайландыру – саланың бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз етудің басты құралы.

Цифрлық технологиялардың дамуы, өндірістік деректерді біріктіру және интеллектуалды шешім қабылдау жүйелерін қолдану өндіру мен өңдеу процестерін біртұтас технологиялық кешен ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

1. Өндіру процестерін оңтайландырудың негізгі бағыттары

Ұңғымалар қорын интеллектуалдандыру. Қазіргі кен орындарында «ақылды ұңғыма» технологиялары кеңінен енгізілуде. Датчиктер мен телеметрия жүйелері келесі мүмкіндіктерді береді: қысым, температура, дебит көрсеткіштерін нақты уақыт режимінде бақылау; сорғы жабдықтарының жұмыс режимін автоматты реттеу; апаттық жағдайларды алдын ала болжау. Машиналық оқыту алгоритмдері негізінде ұңғымалардың өнімділігін болжау және оңтайлы пайдалану режимдерін таңдау жүзеге асырылады.

Қабатты модельдеу және цифрлық егіздер. Гидродинамикалық модельдер көмегімен: өндіру сценарийлері бағаланады; су және газ айдау жүйелері реттеледі; қабатты ынталандыру әдістерінің тиімділігі анықталады. Цифрлық егіздер нақты объектінің динамикасын дәл бейнелеп, басқару шешімдерінің тәуекелін азайтады.

Энергия тиімділігін арттыру. Өндіру кезінде энергия шығыны едәуір үлесті құрайды. Оны төмендету үшін: сорғы және компрессор

жабдықтарын оңтайлы жүктеу; жылуды рекуперациялау; жаңартылатын энергия көздерін пайдалану қолданылады.

2. Өңдеу процестерін оңтайландыру

Шикізат сапасын басқару. Мұнай мен газ құрамының тұрақсыздығы өңдеу қондырғыларының икемді жұмысын талап етеді: ағындарды автоматты араластыру; тұзсыздандыру және тұрақтандыру режимдерін реттеу; онлайн-анализаторлар арқылы сапаны бақылау.

Технологиялық схемаларды жетілдіру. Өңдеу саласында келесі бағыттар перспективалы: селективті каталикалық процестер; ауыр қалдықтарды терең өңдеу; мембраналық және адсорбциялық тазарту әдістері.

Цифрлық интеграция. «Өндіру – тасымалдау – өңдеу» тізбегін біріктіретін ақпараттық жүйелер: өндірістік жоспарларды үйлестіреді; тоқтап қалуларды азайтады; тауарлық баланс дәлдігін арттырады.

Өндіру және өңдеу процестерін оңтайландыру технологиялық инновациялар мен цифрлық трансформацияны біріктіретін жүйелі тәсілді талап етеді. Цифрлық егіздерді құру, жасанды интеллект әдістерін қолдану, энергия үнемдеу технологияларын енгізу мұнай-газ кешенінің тұрақты дамуына жағдай жасайды. Бұл шаралар өндірістің тиімділігін арттырып қана қоймай, экологиялық жауапкершілікті қамтамасыз етеді.

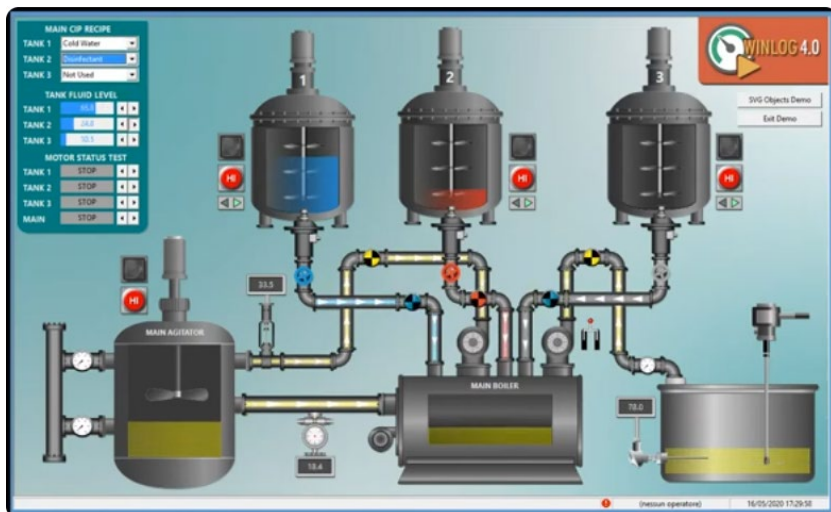
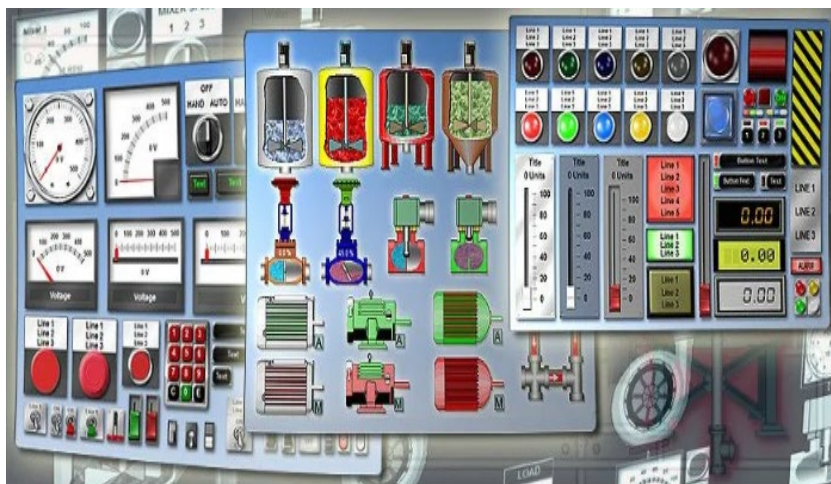
3. Автоматтандырылған басқару жүйелерінің рөлі

Автоматтандырылған басқару жүйелері (АБЖ) – техникалық, өндірістік және ұйымдастырушылық процестерді заманауи ақпараттық технологиялар арқылы бақылау, талдау және басқаруды қамтамасыз ететін кешенді жүйелер. Олар өндіріс тиімділігін арттыруда, ресурстарды оңтайлы пайдалануда және қауіпсіздікті қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. АБЖ ТП оңтайландырудың өзегі болып табылады және: барлық объектілерден деректер жинауды; параметрлерді автоматты реттеуді; диспетчерлік бақылау мен диагностика жүргізуді қамтамасыз етеді. АБЖ өндірістегі барлық негізгі кезеңдерді автоматтандыруға мүмкіндік береді:

- Технологиялық параметрлерді (қысым, температура, шығын, деңгей) үздіксіз бақылау;
- Деректерді нақты уақыт режимінде өңдеу;
- Апаттық жағдайларды ерте анықтау;
- Қашықтан басқару мүмкіндігі;

Мысалы, мұнай-газ саласында SCADA жүйелері ұңғымалар мен магистральдық құбырларды бақылауға қолданылады, ал өнеркәсіптік

деңгейде PLC контроллерлері жабдыктарды басқаруды жүзеге асырады. 1 суретте SCADA жүйесінің фрагменттері мен элементтері көрсетілген.



Сурет 1. SCADA жүйесінің фрагменттері мен элементтері

SCADA бағдарламалық жасақтамасы – бұл басқару компьютерлерінде жұмыс істеуге және SCADA жүйесіне тән функцияларды

орындауға арналған SCADA қосымшаларын құруға қажетті барлық құралдарды ұсынатын интеграцияланған даму ортасы: бақылау, бақылау және деректерді жинау.

SCADA қосымшалары бүгінде көптеген өнеркәсіптік салаларда қолданылады және көлемі мен қызмет саласына қарамастан барлық компаниялар үшін таптырмас көмек болып табылады. SCADA бағдарламалық жасақтамасы күрделі SCADA қосымшаларын қарапайым және интуитивті түрде құру үшін ең қолайлы даму ортасы болып табылады.

SCADA қосымшалары бірнеше артықшылықтар береді, бірақ атап айтқанда, олар көптеген күнделікті және жалықтыратын тапсырмаларды орындау кезінде адамды алмастырады деп айтуға болады, бұл еңбек өнімділігін арттырады, дабылды тезірек басқаруға мүмкіндік береді және қоршаған ортаға қауіпті жағдайлардың пайда болу қаупін азайтады.

Автоматтандырылған басқару жүйелері – заманауи өндірістің стратегиялық құралы. Олар: тиімділікті арттырады, қауіпсіздікті күшейтеді, ресурстарды үнемдейді, цифрлық экономикаға көшуге мүмкіндік береді. Сондықтан АБЖ-ны дамыту мен енгізу – техникалық прогрестің және өнеркәсіптің тұрақты дамуының басты бағыттарының бірі болып саналады.

Әдебиеттер тізімі:

1. Өндірісті автоматтандыру негіздері. В. Н. Пантелеев , В.М. Прошин. – Астана: Фолиант, 2022.
2. Технологиялық процестер ерекшелігінің есебімен күрделі емес автоматтандыру жүйесін әзірлеу және модельдеу, С. М. Андреев , Б. Н. Парсункин. – Алматы: Эверо, 2023.
3. Технологиялық үрдістерді автоматтандыру, В.Ю. Шишмарёв. – М.: Недра, 2022.

1.4. РАДИОТЕХНИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС

САНДЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП АҚАУЛАРҒА ЖОЛ БЕРМЕУ

Қырымгерей Ислам Арынгазыұлы

*Баишев Университет студенті,
Қазақстан, Ақтөбе*

Аманғалиев Нұрқуат Еділұлы

*Баишев Университет студенті,
Қазақстан, Ақтөбе*

Кайырова Жумагул Кайруллаевна

*ғылыми директор,
Баишев Университеттегі техникалық
ғылымдардың магистрі,
білім саласындағы аға оқытушысы,
Қазақстан, Ақтөбе*

USING THE DIGITAL SYSTEMS AND WAYS OF SOLVING THE MALFUNCTIONS

Kyrymgerei Islam Aryngazyuly

*Student of
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Amangaliev Nurkuat Ediluly

*Student of
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Kairova Zhumagul Kairullaevna

*Scientific Supervisor,
Master of Technical Sciences,
Senior Lecturer in the field of education in
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Аңдатпа. Мақалада электромагниттік кедергілердің әсері жағдайында цифрлық байланыс жүйелерін қолдану мәселелері қарастырылады. Кедергілердің негізгі көздері, соның ішінде электр беру желілері мен жарықтандыру жүйелері, сондай-ақ олардың радиоэлектрондық құралдардың кедергіге төзімділігіне әсері талданған. Ақпаратты беру сенімділігін арттыру мен қорғаудың заманауи әдістері сипатталған, соның ішінде желілік сүзгілерді және импульстік асқын кернеуден қорғау құрылғыларын пайдалану қарастырылған. Теміржол көлігінде цифрлық радиожүйелерді қолдануға және күрделі пайдалану жағдайларында тұрақты байланысты қамтамасыз ету мәселелеріне ерекше назар аударылған. Байланыс жүйелерінің қауіпсіздігі мен тиімділігін арттыру мақсатында анықталған ақауларды шешудің ықтимал жолдары ұсынылған.

Abstract. The article examines the application of digital communication systems under conditions of electromagnetic interference. The main sources of interference, including power transmission lines and lighting systems, and their impact on the interference immunity of radio-electronic equipment are analyzed. Modern methods of protection and reliability enhancement of data transmission are described, including the use of network filters, surge protection devices. Special attention is paid to the use of digital radio systems in railway transport and to the challenges of ensuring stable communication under difficult operating conditions. Possible solutions to the identified problems aimed at improving the safety and efficiency of communication systems are proposed.

Түйінді сөздер: Цифрлық байланыс жүйелері, электромагниттік кедергілер, кедергіге төзімділік, электр беру желілері, асқын кернеуден қорғау құрылғылары, желілік сүзгілер, теміржол радиобайланысы, цифрлық радиожүйелер, байланыс сенімділігі.

Keywords: Digital communication systems, electromagnetic interference, interference immunity, power transmission lines, surge protection devices, network filters, railway radio communication, digital radio systems, reliability of communication.

Электр беру желілері электромагниттік сәулелену мен кедергілердің көзі болып табылады. Бұл кернеу класына байланысты ондаған метрге таралатын өнеркәсіптік жиіліктегі 50 Гц магнит өрістерінің пайда болуымен қатар жүреді. Электромагниттік кедергілер радиоэлектрондық жүйелердің кедергіге төзімділігін төмендетеді. Бұл сигнал/кедергі қатынасымен және ақпаратты қабылдау кезіндегі қателік ықтималдығымен сипатталады. Оны арттыру үшін экрандау, сүзгілеу, байланыс арналарының резервтелуі және сигналдарды өңдеудің

бейімделмелі әдістері қолданылады. Импульстік кедергілер ең қауіпті болып саналады, себебі олар сигналдарды қабылдау кезінде іркілістер тудыруы мүмкін.

1. Ethernet желісін импульстік кедергілерден қорғау құрылғысы найзағай және коммутациялық асқын кернеулерден қорғауға арналған. Үлгі екі деңгейлі сұлба бойынша орындалған: «желі – жер» – импульстік асқын кернеулерді бұру үшін; «желі – желі» – дифференциалды кедергілерден қорғау үшін.

2. Импульстік кедергілерден қорғайтын желілік сүзгі – электр желісіндегі кернеу ауытқуларынан, жоғары жиілікті және импульстік кедергілерден электр жабдықтарын қорғауға арналған құрылғы. Ол қосылған жабдықты сыртқы және ішкі кедергілерден қорғайды әрі олардың электр желісі бойымен таралуына жол бермейді. Жұмыс істеу қағидасы LC-сүзгілеуге негізделген: варисторлар импульстік асқын кернеулерді жұтады, дроссельдер жоғары жиілікті кедергілерді әлсіретеді, ал конденсаторлар оларды шунттайды. Мұндай құрылғылар тұрмыста, өнеркәсіпте және медициналық техникада қолданылады.

3. Кәсіби мобильді радиобайланыс (ПМР) – екіжақты құрлықтық жылжымалы радиобайланыс жүйелері. Бұл жүйелер мобильді абоненттер арасында жедел әрі сенімді байланысты қамтамасыз етуге арналған. ПМР желілерін кәсіби белгісі бойынша біріккен шектеулі пайдаланушылар топтары қолданады. Оларға диспетчерлік, жедел, өндірістік-технологиялық және әкімшілік-шаруашылық қызметтер жатады: құқық қорғау құрылымдары, авариялық қызметтер, көлік, энергетика және өнеркәсіп салалары. Ұялы байланыс жоқ жағдайларда – тауда, шахталарда, тайгада және шалғай нысандарда – сенімді радиобайланыс шешуші маңызға ие.

4. «Хит-Манет» цифрлық радиостанциясы кедергіге төзімді және тығыз құрылыс аймақтары мен жерасты нысандарын қоса алғанда күрделі жағдайларда жұмыс істей алады. Радиостанция бір мезгілде екі Манет желісінде және екі жиілік диапазонында жұмыс істейді, бұл деректерді беру сенімділігін айтарлықтай арттырады. Құрылғы кедергіге төзімділікті арттырудың заманауи әдістерін қолданады: спектрді кеңейту, WI-FI, PLK, цифрлық радио. Радиостанция құтқару қызметтеріне, өнеркәсіпке, күштік құрылымдарға және экстремалды туризмге арналған.

5. Теміржол көлігі қозғалысты басқару мен қауіпсіздікті қамтамасыз етудің негізгі құралы болып табылады. ҚТЖ Қазақстанда басқаратын жолдардың ұзақтығы жағдайында машинист, диспетчер және станция кезекшілері арасындағы сенімді байланыс арнасы жай ғана қолайлылық емес, қатаң регламенттік талап болып саналады.

Қазіргі теміржол көлігі цифрлық стандарттарға көшуде, алайда аналогтық жүйелер инфрақұрылымда әлі де елеулі үлеске ие. Теміржолдағы радиобайланыс қатаң иерархиялық құрылымға ие және функционалдық түрлерге бөлінген, бұл тасымалдау процесін қауіпсіз әрі нақты басқаруға мүмкіндік береді. Бірыңғай жиілікті пайдалану мүмкін емес, сондықтан байланыс кәсіби жабдықтарды қолдана отырып, жекелеген сегменттер бойынша ұйымдастырылады.

Радио байланыс түрі:

1. Стансалық – темір жол станциясында маневр және сұрыптау жұмыстарын басқаруға арналған.

2. Пойыздық – машинисттер мен диспетчерлер арасындағы ұзақ қашықтықтағы байланысты қамтамасыз етеді, ретранслятор желісі арқылы үздіксіз жұмыс жасайды.

3. Жедел жөндеу байланысы – темір жол инфрақұрылымында қызмет көрсететін мобильді бригадаларды үйлестіруге арналған, көбіне тасымалды радиостанциялар қолданылады.

Жиіліктер мен жүйелер: современный диапазоны.

DMB (DMR, TETRA, GSM-R) – цифрлық жүйелер, дауыс пен деректерді береді. **Мысал:**

Ақтөбе облысы, Шалқар станциясында 50 км учаскеде екіжақты үздіксіз байланыс үшін радио құрылғылары орнатылған. Қолданыстан тыс 43PТС-A2-ЧМ пойыздық радиостанциялардың кешендері әуе байланыс желісіне қосылған.



Сурет 1. 43PТС-A2-ЧМ



Сурет 2. РЛСМ-10

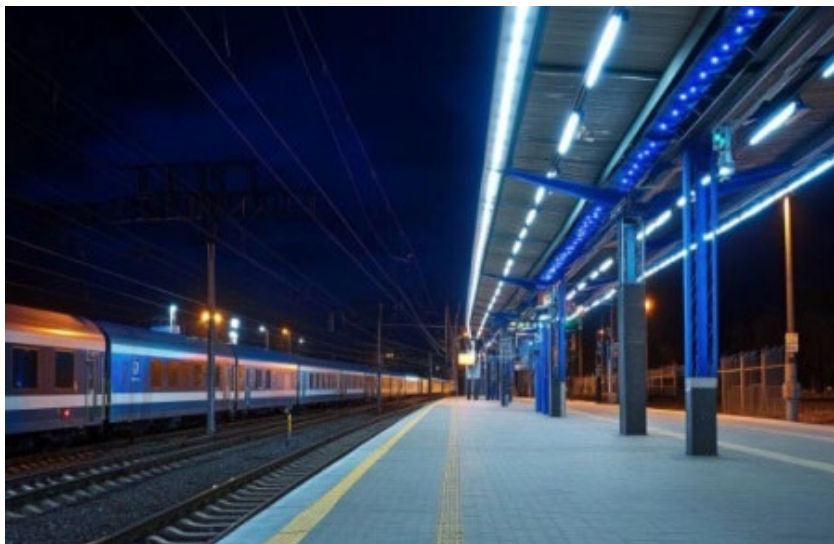
РЛСМ-10 радиостанциясы DMR, GSM, GSM-R, LTE стандарттары бойынша цифрлық технологиялық радиобайланыс желілерінде, сондай-ақ Thuraya, Iridium спутниктік байланыс желілерінде сөйлеу мен деректерді беруге арналған. Радиостанциялар технологиялық радиобайланысты ұйымдастыру мақсатында теміржол және автокөлік құралдарына орнатылады. РЛСМ-10 құрылғылары ТУ–ТС теле басқару және телесигнализация сигналдарын, борттық жүйелердің технологиялық апаратын, деректерді беру аппаратурасын, сондай-ақ сыртқы сөйлесулерді тіркеу құрылғыларын қосуға арналған арналарды қамтамасыз етеді. DMR режимінде деректерді беру жылдамдығы 6400 бит/с-қа дейін, ал GPRS және CSD протоколдарын қолдайтын GSM және GSM-R стандарттары бойынша 9600 бит/с-қа дейін жетеді.



Сурет 3. Шамдар



Сурет 4.Прожекторлар



Сурет 5. Жарықтық диодтар

Жарықтандыру жүйелерінде жарық шамдары мен прожекторлар жарық сәулесінің көздері ретінде қолданылады. Осыған байланысты электромагниттік кедергілер туындайды, олар станцияның мойнақтарында (горловина және тақ бағыттағы горловина) қолданылатын, ескі үлгідегі 2150 Гц жиілігінде жұмыс істейтін 43РТС радиоэлектрондық жүйелерінің кедергіге төзімділігін төмендетеді. Ал РЛСМ-10 радиобайланысы теле басқару және телесигнализация сигналдарын цифрлық желілер арқылы беруге арналғандықтан, мұндай кедергілер оған айтарлықтай әсер етпейді.

Мәселені зерттеу барысында қазіргі уақытта кедергі көзін нақты анықтайтын арнайы құрылғының жасалмағаны анықталды. Осы жағдайдан шығудың екі негізгі жолы бар. Біріншісі – кедергіні анықтайтын сезімтал элементі бар арнайы аспап әзірлеу немесе жарықдиодты шамдарды басқа шам түрлеріне ауыстыру. Мәселе мынада: егер бір жарық нүктесінде 12 жарықдиодты шам орнатылып, олардың біреуі істен шықса, қалған шамдар есептелген жүктемеден артық жүктемеде жұмыс істейді. Бұл электромагниттік кедергілердің пайда болуына әкелуі мүмкін.

Кәсіби мобильді радиобайланысты (ПМР) қолдану тиімсіз, себебі жергілікті жер бедері (ойпаңдар, таулар, тоннельдер) блок-учаскелерде тұрақты желіні қабылдауға мүмкіндік бермейді. Сондықтан перегонның

блок-участкелерінде цифрлық желі станцияларын орнату қажет. Қыздыру шамдарының артықшылықтарына айнымалы токпен жұмыс істегенде жыпылықтаудың болмауы және басқа жарық көздерімен салыстырғанда ультракүлгін сәулеленудің төмен деңгейі жатады.

Егер теміржол нысандарында электромагниттік кедергілерді анықтайтын ЦМЭМС-Rail детекторы жасалатын болса, бірінші мақсат бойынша зерттеу нәтижелері 1-қосымшада көрсетіледі. Ал МЦСП-R1000 мини-цифрлық станциясын құруға қатысты екінші мақсаттың зерттеу шешімдері 2-қосымшада баяндалады.



Сурет 6. ЦМЭМС-Rail



Сурет 7. МЦСП-R1000

1-қосымша

1. Жүйе жұмыс диапазоны:

Төмен жиіліктер (НЧ): 50 Гц (өнеркәсіптік жиілік)

УКВ: 150–160 МГц (пойыздық радиобайланыс)

Құрылғы S/N (сигнал/кедергі) деңгейін өлшейді.

1. Электр беру желісінен (ЛЭП) электромагниттік өріс деңгейін есептеу

Үш фазалы 110 кВ желі үшін: $V = \mu_0 I^2 \pi r$ = $\frac{\mu_0 I^2}{2\pi r}$ мұндағы: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магниттік тұрақтысы, $I = 300 \text{ А}$ – орташа ток жүктемесі, $r = 20 \text{ м}$ – қашықтық.

Есептеу: $V = 4\pi \times 10^{-7} \times 300^2 \times 20 \approx 3 \times 10^{-6} \text{ ТлВ}$ = $\frac{4\pi \times 10^{-7} \times 300^2 \times 20}{2\pi} \approx 3 \times 10^{-6} \text{ ТлВ}$

$V \approx 3 \text{ мкТлВ}$ $\approx 3 \text{ мкТлВ}$

2. Сигнал/кедергі (S/N) қатынасын есептеу

Өлшенген сигнал: $S = -80 \text{ дБм}$

Кедергі: $N = -100 \text{ дБм}$

S/N есебі:

$S/N = S - N$

$$S/N = -80 - (-100)$$

$$S/N = 20 \text{ дБ}$$

$$S/N = S - N$$

$$S/N = -80 - (-100)$$

$S/N = 20$ дБ цифрлық байланысқа жеткілікті.

2-қосымша

1. Расчет радиосвязи: 8-канал (МЦСП-R1000)

$$L = 32.4 + 20 \log \frac{f}{f_0} + 20 \log \frac{dL}{dL_0} = 32.4 + 20 \log f + 20 \log dL$$

$$L = 32.4 + 20 \log \frac{f}{f_0} + 20 \log \frac{dL}{dL_0} = 32.4 + 20 \log(160) + 20 \log(20)$$
$$L = 32.4 + 44 + 26 = 102.4 \text{ дБ}$$
$$L \approx 102.4 \text{ дБ}$$

2. Расчет устойчивости к сопротивлению

$$S/N \geq 12 \text{ дБ}$$

Әдебиеттер тізімі:

1. Аса жоғары кернеулі қондырғылар және қоршаған ортаны қорғау – Александров Г.Н. Л.: Электроатомиздат, 1989.
2. Контакт желісі мен ДПР желісінің оқшауланған сымдарында электр өрісімен индукцияланған потенциалдарды есептеу – Бессонов В.А., Матюшенко В.С. ДВГУПС, (жылы көрсетілмеген).
3. Электр аппараттарының магниттік жүйелерін есептеу әдістері: магниттік тізбектер, өрістер және FEMM бағдарламасы: жоғары оқу орындарының студенттеріне арналған оқу құралы – Буль О.Б. М.: «Академия» баспа орталығы, 2005. – 336 б.
4. Электр беру желілерінің электромагниттік сәулеленуі – Чурикова Е.В. Орынбор: ФГБОУ ВПО ОГУ, (жылы көрсетілмеген).
5. Экобаланс. Электр беру желілерінің маңында өмір сүру қауіпсіз бе? [Электрондық ресурс]. М., 2008. – ISBN 5-7695-2064-7. – Қолжетімділік режимі: <http://ekobalans.ru/ekologiya>.

1.5. КӨЛІК

КҮЗЕТІЛМЕЙТІН ӨТКЕЛ БАҒДАРШАМЫН ЖАҢАРТУ

Жетпісбай Нұржан Жандарбекұлы

*Баишев Университет студенті,
Қазақстан, Ақтөбе*

Вагнер Денис Евгеньевич

*Баишев Университет студенті,
Қазақстан, Ақтөбе*

Кайырова Жумагул Кайруллаевна

*ғылыми жетекшісі,
Баишев Университеттегі техникалық
ғылымдардың магистрі, білім саласындағы
аға оқытушысы,
Қазақстан, Ақтөбе*

MODERNIZATION OF UNATTENDED RAILWAY LEVEL CROSSING SIGNALING SYSTEMS

Zhetbisbai Nurzhan Zhandarbekuly

*Student of
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Vagner Denis Evgenevich

*Student of
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Kairova Zhumagul Kairullaevna

*Scientific Supervisor,
Master of Technical Sciences,
Senior Lecturer in the field of education in
Baishev University,
Kazakhstan, Aktobe*

Аңдатпа. «Күзетілмейтін темір жол өткелі бағдаршамын жаңарту» тақырыбының мақсаты – көлік орындарын, түрлі жол өткелдерін зерттеу, онда жиі ірі апаттар мен оқиғалар орын алады. Ірі апаттар мен оқиғалардың, адамдардың қаза болуын болдырмау. Жаңа технологияның жаңалығы – жол байланысы саласындағы бұл әдіс көлік құралдарының жұмыс істеу тәсілін түбегейлі өзгертеді, акпарат беріп, жол қозғалысын нақты уақыт режимінде жақсы басқаруға мүмкіндік береді, қажет желілік инфрақұрылым болған жағдайда. Мәні мынада: локальды, ұлттық немесе тіпті ғаламдық деңгейде тәуелсіз жүйелердің орнына ITS көлік желісін құру, ол Интернет сияқты жұмыс істейді, барлық жүйелер қосылған, бірақ стандарттарға негізделген байланысқа ашық, бұл шығындарды азайтады және жол шамдарын басқаруға қатысатын барлық адамдар үшін құндылық жасайды.

Abstract. The aim of the topic “Modernization of traffic signal systems at unprotected level crossings” is to study transport locations and various road crossings where major accidents and incidents frequently occur, and to prevent serious accidents, emergencies, and loss of human life. The novelty of the study lies in the fact that new road communication technologies fundamentally change the way vehicles operate by providing information and enabling more effective real-time traffic management, provided that the necessary network infrastructure is available. The essence of the proposed approach is to create an intelligent transportation network instead of independent systems at local, national, or even global levels. This network operates similarly to the Internet, where all elements are interconnected and open to standardized communication, which reduces costs and creates value for all participants involved in traffic light control and traffic management.

Түйін сөздер: видео-тіркегіш, аудио-тіркегіш, өткелді қоршайтын қақпа, жол қауіпсіздігінің белгісі, жолаушылар көлігі, жүк көлігі, автожол көлігі, инфрақұрылым, инвестиция.

Keywords: video recorder, audio recorder, barrier crossing device, sign of Road safety, railway transport, passenger transport, road transport, container transport, passenger registration, infrastructure, investment.

Қауіпсіз қозғалысты қамтамасыз ету мәселесі көлік түрлерінің дамуы мен қатар пайда болды. Бұл толықтай құрылғылардың сапасына, адамдардың жаңа реконструкцияларды салу, қолданыстағы сигналдық құрылғыларды жөндеу және жаңарту кезінде қиындықтарды еңсеру қабілетіне байланысты. Статистикаға сәйкес, қозғалыстың әртүрлі жерлерінде автокөлік жүргізушілерінің кінәсінен жүзге жуық жол-көлік оқиғалары тіркелген. Көптеген жүргізушілер теміржол өткеліндегі

сигнализацияның дұрыс жұмыс істеп тұрғанын ескеріп, пойыздың жақындауы туралы хабарламаларды елемейді. Қозғалыс ережелерін сақтамайтын жүргізушілер өз тағдырын сынауды жалғастыра береді, нәтижесінде әр жыл сайын көптеген апаттар орын алады. Кінәлілер көбінесе жеңіл көліктерді асыра жылдамдықпен жүргізетін жүргізушілер болып табылады. Адамдармен және қозғалыс ережелерін бұзушылармен кездесулер тұрақты түрде өтсе де, нәтиже бермейді. Осы теміржол өткеліндегі оқиғаларға байланысты мен жаңа типтегі өткелді ұсынамын – бұл жаңа көлікті бақылау түрі, оның жаңалығы – бақылауды көлік полициясының қызметкерлері жаңа технология арқылы біртұтас жүйеде жүзеге асыра алады.

Көлік жолы оқиғалары адам алған жарақаттар мен апаттан кейінгі 30 күн ішінде қаза болғандар саны бойынша өлшенеді, өз-өзіне қол жұмсаулар автокөліктерді пайдалану арқылы болған жағдайлардан басқа. Жол механикалық көлігі – бұл қозғалыстың бірден-бір көзі ретінде қозғалтқышпен жабдықталған көлік құралы, көбінесе адамдарды немесе жүктерді тасымалдау немесе жолда тарту үшін қолданылады. Оған автобус, туристік автобус, троллейбус, трамвай және жүктерді тасымалдауға арналған автокөлік жатады.

Сондықтан менің схемалық жоспарыма аудио-видео тіркеушілер мен мотор іске қосылғанда өткелді жабатын кедергілер қойылды. Барлық осы құрылғылар бір уақытта жұмыс істеуі тиіс. Видео-тіркеушілер кеңінен қолданылса да, менің жоспарыма барлық құрылғылар біртұтас қауіпсіздік жүйесіне біріктірілуі керек, ол ақпаратты бір сәтте бере алады. Жолаушылар көлігі деп осы желіде ішкі көлікті қолданатын жолаушылар қозғалысы түсініледі. Мәліметтер миллион жолаушы-км түрінде көрсетіледі, бұл бір жолаушыны бір км тасымалдауға сәйкес келеді. Жол-көлік оқиғалары:

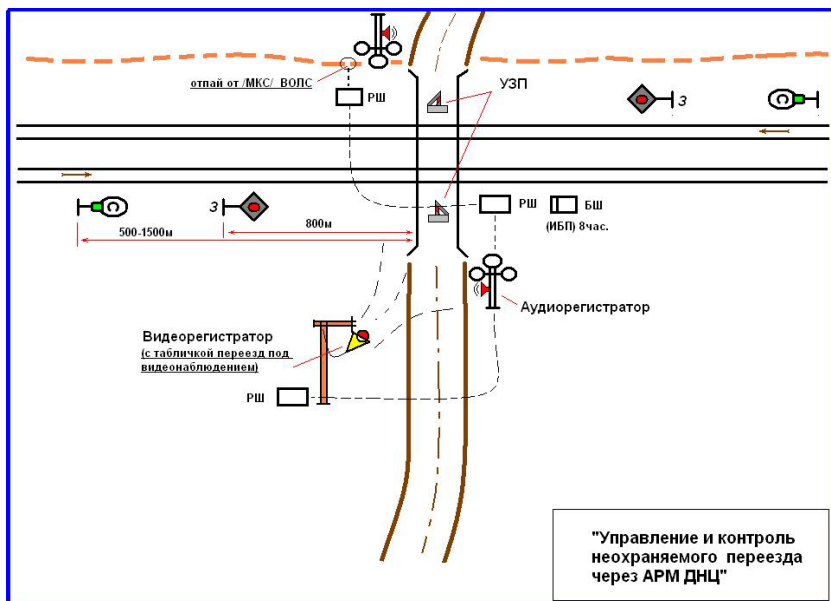
- Жолаушылар көлігі
- Жүк көлігі
- Контейнерлік көлік
- Жеңіл автокөліктерді тіркеу
- Инфрақұрылымға инвестициялар
- Инфрақұрылымдық қызмет көрсету

Барлық ағымдағы процестерді біз «адам – технология» біртұтас жүйелік-техникалық кешені ретінде қарастыра аламыз. Мен таңдаған жаңа типтегі өткел – бұл қауіпсіз көліктің қызметін атқаратын микропроцессорлық құрылғылардың біртұтас кешені. Қауіпсіз көлікті басқару және қызмет көрсету жүйесі толық көрсетілген. Барлығы аудио-видео тіркеуші және автоматты әрекет беруші арқылы ақпаратты жүйелі беру принциптеріне негізделген, бұл 1-суретте көрсетілген.

Сондықтан жалпы жоспарға келесі элементтер орналастырылуы тиіс:

1. Видео-тіркегіш
2. Аудио- тіркегіш

3. Өткелді бөгейтін құрылғысы Автожол бағытына жол қозғалысы қауіпсіздігі белгісі



Сурет 1.

4. Управление и контроль

Инспектор мына міндеттерді орындай алады:

1.Бейнебақылау. Қозғалысты интеллектуалды анықтау, икемді баптау, телекамераның жұмысы, табиғи кедергілерді сүзгілеу. Бейнежазба жүргізу. Кез келген бейне деректерді автоматты түрде кең форматта сақтау. Суреттермен жұмыс жасауға арналған сервис, қуатты архивтеу модулі. Аудио және басқару. Телефон желілерін толық бақылау, әңгімелерді жазу. AON қолдауы, аудио мен бейнені синхрондау. Қорғалмаған аймаққа кіруді бақылау. Кез келген қауіпсіздік құрылғыларымен интеграция және басқару: бейне жүйесімен, өрт қауіпсіздік сигнализациясымен, кіруді бақылау

жүйесімен, сенсорлы датчикпен бергіш арқылы. Ақауды автоматты тіркеу және пайдаланушыларға лезде хабарлау. Жүйені бақылау және басқару – локалды желі, арналар, интернет және мобильді байланыс арқылы. **«Инспектор +» интеграциялық таратушы қауіпсіздік жүйесі** – кез-келген объектіні қорғауға арналған кешенді шешім, салалық шектеусіз. Әртүрлі модульдерден алынған фактілер негізінде кешенді жағдайларды талдауға арналған бірегей технологияларды қолдану.

2. Аудио-тіркегіш – қажетті өткелдегі дыбыстық сигнализацияның жұмыс қабілетін тіркеу және басқаруға арналған. Пойыз 2-3 блоктан өткел аймағына кіргенде автоматты түрде қосылады және пойыз өткелден шыққаннан кейін ажыратылады.

3. Өткелді бөгейтін құрылғы (УЗП) – теміржол өткелдерінде кеңінен қолданылады. Қазіргі уақытта адамдар еліміздің кейбір негізгі станцияларында УЗП қолдануды қарастыруда. Алайда бұл құрылғыларды автоматты жүйелермен пайдалану тиімді емес. Сол себепті жаңа кешенде жұмыс істейтін және заманауи өткелдің жоспары мен конструкциясын жасау қажет. УЗП теміржол өткелін бөгеу, өткелдегі жарық сигналын өткізбейтін қақпа көтеру арқылы қызмет етеді. Кешенде екі нұсқа бар – оң және сол, бұл автомобиль жолының оң және сол бөліктеріне орнатуға мүмкіндік береді, сондай-ақ жол учаскелерінің еніне байланысты екі нұсқа ұсынылған. Автомобиль жолы мен шлагбаум арасында ыеталл конструкция бетон негізге орнатылады. Сондай-ақ, бұл өткел сигнализациясын да қамтамасыз етеді. **УЗП қызметтері:** Өтпелі аймақта механикалық кедергіні қамтамасыз ету; Кедергілер аймағында тұрғаннан кейін рұқсатсыз көліктердің шығуына жол бермеу; Кедергілер аймағындағы көліктерді анықтау; Дежурлық қызметкерлерді хабарландыру. **Өткелді бөгейтін құрылғы** рұқсатсыз көліктердің теміржол өткелінен шығу мүмкіндігін дерлік толық жоятын жалғыз құрал. Қақпаны 5–10 секунд бұрын қойылуы тиіс, бұл көліктердің уақытында шығуына мүмкіндік береді. Жол полициясы жүргізушілердің жіберген қателіктерін анықтауы керек. Бұл – кінәлілерді және мәселелерді архивтен анықтаудың қарапайым әдісі.



Сурет 5. УЗП



Сурет 6. Қолданысы



Сурет 7. Күзетілетін өткел



Сурет 8. Жол белгісі



Сурет 9. УЗП



Сурет 10. ГАИ



Сурет 11. Байланыс



Сурет 12. Сандық әлем



Сурет 13. Авария

Жоспардың орындалуын талдау кезінде қауіпсіздік мәселелеріне ерекше көңіл бөлу қажет. Бұл құрылғылар мен жұмыстардың табыстылығы – оқыс оқиғалардың болмауымен сипатталады. Егер мұндай оқиғалар орын алса, олардың себептерін қарастыру қажет, себебі қайталанатын қабылданған қадамдар қателіктерге әкелуі мүмкін. Айта кету керек, жоғары экономикалық тиімділігі бар жаңа технологияларды енгізу – сала дамуы мен тұрақтылығының негізгі шарттарының бірі. Сонымен қатар, инновациялық жобаларды таңдаудың негізгі критерийлері: тақырыптың мәні, енгізу ауқымы мен тиімділігі, ғылыми әлеуеті және жүзеге асырылуы, сондай-ақ болашақтағы дамуының перспективасы. Мұндай идеялардың пайда болуы ел экономикасының динамикалық дамуына үлкен әсер етеді. Менің ойымша, ұсынылған жаңа типтегі өткел – бұл ГАИ мамандары автоматты жұмыс орталары арқылы жүзеге асыратын басқару мен бақылауды қарастыратын жүйе, ол көліктің қауіпсіз қозғалысын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқаруы тиіс.

Әдебиеттер тізімі:

1. Темір жол машиналарына арналған діріл құрылғысы: ғылыми мақалалар жинағы / Ахметов М. Ф., Ибраимов А. К., Таран М. В. – (Ғылыми еңбектер жинағы, Алматы.2016.

2. Темір жол : оқу-әдістемелік құрал [Электронды ресурс] / Косенко С. А., Ибраимов А. К., Төлебаева З. – Алматы : Қазақстан көлігі және коммуникациялар академиясы КазАтк, 2013. – 178 бет.
3. Approach for Early Fault Detection in Aircraft Control Surfaces Servo-Loops (Proc. 8th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes – SAFEPROCESS 2012) / Henry D., Мексика : IFAC, 2012. 806–811беттер. – I Конференция материалы.
4. Efficient Nonlinear Actuator Fault Detection and Isolation System for Unmanned Aerial Vehicles / Ducard G., Geering H. P. – Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2008. – Vol. 31, No. 1. – беттер 225–237. – ISSN 0731-5090 (журнал мақаласы).
5. Fault-Tolerant Flight Control / Christopher E., Thomas L., Берлин: Springer, 2015. – ISBN 978-3-662-44564-8.
6. Fault-Tolerant Flight Control System Design Against Control Surface Impairments / Jiang J., Yu X. – IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2012. – Vol. 20, No. 4. – беттер 871–886. – ISSN 0885-8985.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
НАУКИ**

*Сборник статей по материалам ХСV международной
научно-практической конференции*

№ 4 (95)
Апрель 2026 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 06.04.26. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 12,75. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»
123098, г. Москва, ул. Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 1

16+



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru