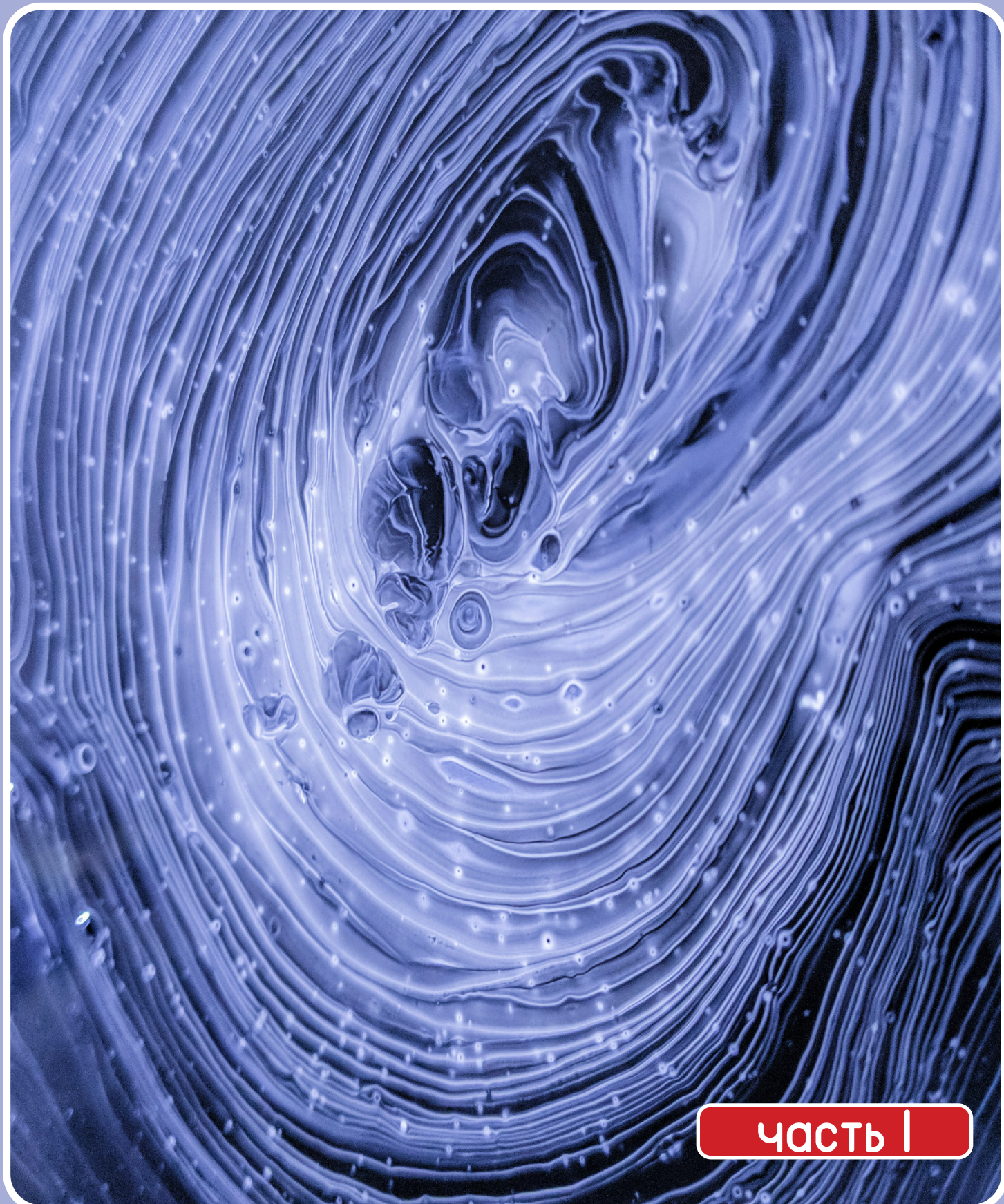


АП:И

АКТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

международный научный журнал // ISSN 2713-1513 // № 25 (311), 2026 // apni.ru



Актуальные исследования

Международный научный журнал

2026 • № 25 (311)

Часть I

Издается с ноября 2019 года

Выходит еженедельно

ISSN 2713-1513

Главный редактор: Ткачев Александр Анатольевич, канд. социол. наук

Ответственный редактор: Ткачева Екатерина Петровна

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей.
При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.
Материалы публикуются в авторской редакции.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Абдуллин Тимур Зуфарович, кандидат технических наук (Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара)

Абидова Гулмира Шухратовна, доктор технических наук, доцент (Ташкентский государственный транспортный университет)

Альборад Ахмед Абуди Хусейн, преподаватель, PhD, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Аль-бутбахак Башшар Абуд Фадхиль, преподаватель, PhD, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Альхаким Ахмед Кадим Абдуалкарем Мухаммед, PhD, доцент, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Асаналиев Мелис Казыкеевич, доктор педагогических наук, профессор, академик МАНПО РФ (Кыргызский государственный технический университет)

Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, проректор по научной работе, профессор, директор НИИ биogeографии и ландшафтной экологии (Дагестанский государственный педагогический университет)

Бафоев Феруз Муртазоевич, кандидат политических наук, доцент (Бухарский инженерно-технологический институт)

Гаврилин Александр Васильевич, доктор педагогических наук, профессор, Почетный работник образования (Владимирский институт развития образования имени Л.И. Новиковой)

Галузо Василий Николаевич, кандидат юридических наук, старший научный сотрудник (Научно-исследовательский институт образования и науки)

Григорьев Михаил Федосеевич, доктор сельскохозяйственных наук (Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкого)

Губайдуллина Гаян Нурахметовна, кандидат педагогических наук, доцент, член-корреспондент Международной Академии педагогического образования (Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова)

Ежкова Нина Сергеевна, доктор педагогических наук, профессор кафедры психологии и педагогики (Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого)

Жилина Наталья Юрьевна, кандидат юридических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Ильина Екатерина Александровна, кандидат архитектуры, доцент (Государственный университет по землеустройству)

Каландаров Азиз Абдурахманович, PhD по физико-математическим наукам, доцент, проректор по учебным делам (Гулистанский государственный педагогический институт)

Карпович Виктор Францевич, кандидат экономических наук, доцент (Белорусский национальный технический университет)

Кожевников Олег Альбертович, кандидат юридических наук, доцент, Почетный адвокат России (Уральский государственный юридический университет)

Колесников Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент (Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова)

Копалкина Евгения Геннадьевна, кандидат философских наук, доцент (Иркутский национальный исследовательский технический университет)

Красовский Андрей Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАЕН и АИН (Уральский технический институт связи и информатики)

Кузнецов Игорь Анатольевич, кандидат медицинских наук, доцент, академик международной академии фундаментального образования (МАФО), доктор медицинских наук РАГПН, профессор, почетный доктор наук РАЕ, член-корр. Российской академии медико-технических наук (РАМТН) (Астраханский государственный технический университет)

Литвинова Жанна Борисовна, кандидат педагогических наук (Кубанский государственный университет)

Мамедова Наталья Александровна, кандидат экономических наук, доцент (Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова)

Мукий Юлия Викторовна, кандидат биологических наук, доцент (Санкт-Петербургская академия ветеринарной медицины)

Никова Марина Александровна, кандидат социологических наук, доцент (Московский государственный областной университет (МГОУ))

Насакаева Бакыт Ермекбайкызы, кандидат экономических наук, доцент, член экспертного Совета МОН РК (Карагандинский государственный технический университет)

Олешкевич Кирилл Игоревич, кандидат педагогических наук, доцент (Московский государственный институт культуры)

Попов Дмитрий Владимирович, доктор филологических наук (DSc), доцент (Андижанский государственный институт иностранных языков)

Пятаева Ольга Алексеевна, кандидат экономических наук, доцент (Российская государственная академия интеллектуальной собственности)

Редкоус Владимир Михайлович, доктор юридических наук, профессор (Институт государства и права РАН)

Самович Александр Леонидович, доктор исторических наук, доцент (ОО «Белорусское общество архивистов»)

Сидикова Тахира Далиевна, PhD, доцент (Ташкентский государственный транспортный университет)

Таджибоев Шарифджон Гайбуллоевич, кандидат филологических наук, доцент (Худжандский государственный университет им. академика Бободжона Гафурова)

Тихомирова Евгения Ивановна, доктор педагогических наук, профессор, Почётный работник ВПО РФ, академик МААН, академик РАЕ (Самарский государственный социально-педагогический университет)

Хайтова Олмахон Саидовна, кандидат исторических наук, доцент, Почетный академик Академии наук «Турон» (Навоийский государственный горный институт)

Цуриков Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент (Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС))

Чернышев Виктор Петрович, кандидат педагогических наук, профессор, Заслуженный тренер РФ (Тихоокеанский государственный университет)

Шаповал Жанна Александровна, кандидат социологических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Шошин Сергей Владимирович, кандидат юридических наук, доцент (Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского)

Эшонкулова Нуржахон Абдужабборовна, PhD по философским наукам, доцент (Навоийский государственный горный институт)

Юсупова Феруза Зойировна, доктор философии (PhD) (Навоийский государственный горно-технологический университет)

Яхшиева Зухра Зиятовна, доктор химических наук, доцент (Джиззакский государственный педагогический институт)

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Гвардина А.О.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ФУНКЦИИ В 7–9 КЛАССАХ.....	6
--	---

НЕФТЯНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Утемисова Р.Р.

ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОДНОВРЕМЕННО-РАЗДЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ВОСТОЧНО-БЫГИНСКОМ ПОДНЯТИИ ВЕСЕННЕГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	9
---	---

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Алаза Мохаммед Махмуд Абд Заид

ОБОСНОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЯ СЕТКИ СКВАЖИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БУРЕЙКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	13
--	----

Беспалов А.В.

ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНЫ ЗАЩИТЫ МОЛНИЕПРИЕМНИКОВ В СООТВЕТСТВИИ С НОРМАТИВНЫМИ ДОКУМЕНТАМИ	17
--	----

Воробьева Е.В., Воякин С.Н.

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ПОСТРОЕНИЯ АСУ ИРРИГАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ.....	26
---	----

Петров Д.Р.

МЕТОДЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ В ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ	29
--	----

Петров Д.Р.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КПД ТОПОЛОГИЙ CLASS-E, LLC И ZVS-ПОЛУМОСТА DCDC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ	34
--	----

Савельев Р.А.

РАЗРАБОТКА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ВЫБОРА МЕЖДУ ЛИТЬЕМ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ И МЕХАНООБРАБОТКОЙ ДЛЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ.....	38
--	----

Соболев В.В.

ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОТОЧНОГО НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНОГО КАРЬЕРНОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ДОСТУПНОСТИ СИГНАЛОВ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ.....	42
--	----

ВОЕННОЕ ДЕЛО

Левченко К.А.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ В РАМКАХ ПРЕДМЕТА «ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЗАЩИТЫ РОДИНЫ»: РОЛЬ КАБИНЕТА В ПАТРИОТИЧЕСКОМ ВОСПИТАНИИ МОЛОДЕЖИ	46
--	----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Михайлов М.С.

ПРОАКТИВНАЯ МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ИОТ-МОНИТОРИНГА И ГИБРИДНОЙ ОЦЕНКИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА	50
--	----

Мухаметова Л.Р.

МЕТОДОЛОГИЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ИНТЕРПРЕТАТОРОВ PYTHON: АРХИТЕКТУРНЫЕ АСПЕКТЫ CRYPTON, PYPY И GRAALPY	57
---	----

Мухаметова Л.Р.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИНТЕРПРЕТАТОРОВ PYTHON: CRYPTON, PYPY И GRAALPY	60
---	----

Ханина А.И.

БИТВА ЗА ПЕРВУЮ СТРАНИЦУ: КАК ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ МЕНЯЕТ SEO И САМ ПОИСК.....	63
---	----

Ханина А.И.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА СЛУЖБЕ УПРАВЛЕНИЯ: ЧТО ОН УЖЕ УМЕЕТ – И ГДЕ ПО-ПРЕЖНЕМУ ОШИБАЕТСЯ.....	68
---	----

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Кузнецова А.А.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДЗЗ, БПЛА И КАДАСТРОВОГО УЧЁТА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ..	73
---	----

СОЦИОЛОГИЯ

Абдупатаева З.

МОШЕННИКИ ПОД МАСКОЙ ПРОПОВЕДНИКОВ	76
--	----

Шестакова А.А.

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ДЕСТИГМАТИЗАЦИИ ПРОФЕССИИ СИДЕЛКИ В КОММЕРЧЕСКОМ ПАНСИОНАТЕ	81
--	----

МАТЕМАТИКА

ГВАРДИНА Анастасия Олеговна

студентка,

Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина, Россия, г. Рязань

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ФУНКЦИИ В 7–9 КЛАССАХ

Аннотация. В статье рассматривается актуальность применения интерактивных цифровых платформ (таких как GeoGebra, Desmos) в процессе обучения алгебре в 7–9 классах. Обосновывается необходимость визуализации абстрактных математических понятий для формирования у обучающихся глубокого и осознанного понимания свойств функций. Предлагается методическая система организации учебной деятельности, включающая практические примеры заданий, и анализируются педагогические преимущества данного подхода.

Ключевые слова: методика обучения математике, цифровые образовательные инструменты, интерактивные платформы, визуализация, свойства функций, GeoGebra, Desmos.

В условиях цифровой трансформации образования и реализации обновленных ФГОС перед учителем математики встает задача не только передачи знаний, но и формирования у обучающихся навыков XXI века: критического мышления, умения учиться и работать с информацией. Традиционный подход к изучению свойств функций в курсе алгебры 7–9 классов часто носит формальный характер. Учащиеся заучивают определения (монотонность, экстремумы, ограниченность) и алгоритмы их поиска аналитическим путем, не всегда понимая геометрический смысл этих понятий [1].

Интерактивные цифровые платформы становятся мощным инструментом для преодоления этого разрыва между алгебраической формой и геометрическим содержанием. Они позволяют перейти от пассивного восприятия информации к активному исследованию, где ученик выступает в роли первооткрывателя, самостоятельно управляя параметрами и наблюдая за изменениями в режиме реального времени [7].

1. Педагогический потенциал интерактивных платформ

Использование таких платформ, как GeoGebra и Desmos, открывает перед учителем новые дидактические возможности:

- Динамическая визуализация. Ученик может не просто видеть статичный график функции $y=kx+b$, а изменять коэффициенты k и b с помощью ползунков и мгновенно наблюдать, как меняется угол наклона прямой и точка ее пересечения с осью ординат. Это формирует интуитивное понимание влияния параметров на поведение функции [2].
- Интерактивное исследование свойств. Платформы позволяют наглядно демонстрировать сложные концепции. Например, понятие «касательная» в 9 классе становится понятным, когда ученик может провести прямую через две точки графика параболы и увидеть, как при их сближении прямая превращается в касательную.
- Обратная связь. Ученик сразу видит результат своих действий. Если при построении графика он допустил ошибку (например, неправильно определил область определения), график не построится или построится неверно. Это служит мгновенным сигналом к поиску ошибки.
- Проектная деятельность. Учащиеся могут создавать собственные интерактивные модели для решения прикладных задач, что повышает их мотивацию и вовлеченность.

2. Методические аспекты применения на уроках алгебры

Рассмотрим конкретные примеры использования цифровых платформ при изучении различных типов функций.

7 класс: Линейная функция $y=kx+b$.

Тема: Влияние коэффициентов на расположение графика.

Задание: В среде Desmos или GeoGebra построить семейство графиков $y=kx+1$, где k – ползунок, изменяющийся от -5 до 5.

Деятельность учащихся: Ученики перемещают ползунок и заполняют таблицу наблюдений: как меняется угол наклона прямой при изменении k ? Что происходит с графиком при $k>0$, $k<0$, $k=0$? Таким образом, понятия «возрастающая» и «убывающая» функция выводятся самими учениками как эмпирическое наблюдение.

8 класс: Квадратичная функция $y=ax^2+bx+c$.

Тема: Исследование свойств параболы (направление ветвей, вершина, ось симметрии) [8, 9].

Задание: построить график функции $y=a(x-p)^2+q$ с использованием ползунков для параметров a , p и q [4, с. 25-34].

Деятельность учащихся:

- Изменяя a , ученики наблюдают за изменением направления ветвей и «растяжением» параболы [6, с. 12-18].
- Изменяя p , они видят горизонтальный сдвиг вершины вдоль оси абсцисс.
- Изменяя q , наблюдают вертикальный сдвиг вершины вдоль оси ординат.
- Встроенные инструменты платформы позволяют ученикам самостоятельно найти координаты вершины, нули функции и сделать вывод об оси симметрии. Это превращает рутинное исследование по алгоритму в увлекательный процесс.

9 класс: Квадратичная функция и производная [3].

Тема: Геометрический смысл производной. Поиск экстремумов.

Задание: построить график функции $f(x)$ и ее производной $f'(x)$ в одной системе координат. Провести через точку $(x_0, f(x_0))$ касательную [5, с. 45-52].

Деятельность учащихся: Ученики перемещают точку касания по графику функции и наблюдают за поведением касательной. Они замечают, что в точках максимума и минимума касательная становится горизонтальной (параллельной оси абсцисс), а значит, ее угловой

коэффициент (и значение производной) равен нулю. Это дает мощное визуальное обоснование связи между знаком производной и монотонностью функции.

Таким образом, внедрение интерактивных цифровых платформ в процесс изучения свойств функций является не просто данью моде, а педагогической необходимостью. Такой подход позволяет:

- Сделать абстрактные математические понятия наглядными и доступными для понимания.
- Повысить учебную мотивацию за счет геймификации и элемента исследования.
- Развить у обучающихся исследовательские навыки и алгоритмическое мышление.
- Индивидуализировать образовательный процесс, позволяя каждому ученику работать в собственном темпе.

Следовательно, использование инструментов визуализации способствует формированию не формальных, а глубоких, осмысленных знаний по алгебре, закладывая прочный фундамент для дальнейшего изучения математики [6, с. 12-18].

Литература

1. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования (утвержден приказом Министерства просвещения РФ от 31 мая 2021 г. № 287). – М.: Просвещение, 2021. – 68 с.
2. Алгебра. 7–9 классы: учеб. для общеобразоват. организаций / Ю.Н. Макарычев, Н.Г. Миндюк, К.И. Нешков, С.Б. Суворова; под ред. С.А. Теляковского. – М.: Просвещение, 2023. – 384 с.
3. Мордкович А.Г. Алгебра. 7–9 классы. В 2 ч. Ч. 1. Учебник для учащихся общеобразовательных учреждений / А.Г. Мордкович. – М.: Мнемозина, 2022. – 315 с.
4. Ястребов А.В. Дидактические и методические основы использования цифровых инструментов в математическом образовании // Математика в школе. – 2021. – № 5. – С. 25-34.
5. Смирнова И.М. О некоторых возможностях использования интерактивной геометрической среды GeoGebra на уроках алгебры // Информатика и образование. – 2020. – № 4. – С. 45-52.
6. Капкаева Л.С. Интеграция знакового и графического подходов в обучении алгебре как средство развития мышления учащихся // Математика в школе. – 2019. – № 3. – С. 12-18.

7. Далингер В.А. Методика формирования понятия «функция» в курсе алгебры основной школы: монография. – Омск: Изд-во ОмГПУ, 2018. – 180 с.

8. Официальный сайт Desmos. Графический калькулятор [Электронный ресурс]. URL:

<https://www.desmos.com/calculator> (дата обращения: 15.01.2026).

9. Официальный сайт GeoGebra. Динамическая математика для всех [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geogebra.org/> (дата обращения: 15.01.2026).

GUARDINA Anastasia Olegovna

Student, Ryazan State University named after S. A. Yesenin, Russia, Ryazan

USING INTERACTIVE DIGITAL PLATFORMS FOR VISUALIZATION AND RESEARCH OF FUNCTION PROPERTIES IN GRADES 7-9

Abstract. *The article examines the relevance of using interactive digital platforms (such as GeoGebra, Desmos) in the process of teaching algebra in grades 7-9. The necessity of visualization of abstract mathematical concepts is substantiated in order to form students' deep and conscious understanding of the properties of functions. A methodological system for organizing educational activities is proposed, including practical examples of tasks, and the pedagogical advantages of this approach are analyzed.*

Keywords: *mathematics teaching methods, digital educational tools, interactive platforms, visualization, properties of functions, GeoGebra, Desmos.*

НЕФТЯНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УТЕМИСОВА Регина Ризабековна

студентка, Удмуртский государственный университет, Россия, г. Ижевск

Научный руководитель – доцент Удмуртского государственного университета,
кандидат физико-математических наук Нургаянов Рафаэль Раифович

ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОДНОВРЕМЕННО-РАЗДЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ВОСТОЧНО-БЫГИНСКОМ ПОДНЯТИИ ВЕСЕННЕГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы разработки башкирского и визейского объектов Восточно-Быгинского поднятия Весеннего нефтяного месторождения, характеризующихся высокой обводненностью, более 96 % и низкими дебитами нефти при значительных остаточных извлекаемых запасах. Проанализированы геолого-физические характеристики объектов, текущее состояние фонда скважин и показатели их эксплуатации. Обоснована целесообразность внедрения технологии одновременно-раздельной эксплуатации ОРЭ на двух скважинах. Предложена технологическая схема ОРЭ с двухпакерной компоновкой, позволяющая осуществлять раздельную эксплуатацию башкирского объекта фонтанным/газлифтным способом, а визейского – электроцентробежным насосом. Определены ожидаемые результаты внедрения: экономия капитальных затрат 160–200 млн руб., дополнительная добыча нефти 1,5–2,5 тыс. т/год, повышение коэффициента охвата визейского объекта с 0,50 до 0,75–1,00.

Ключевые слова: одновременно-раздельная эксплуатация, ОРЭ, многопластовое месторождение, башкирский объект, визейский объект, повышение нефтеотдачи, Весеннее месторождение.

Особенностью текущей ситуации в топливно-энергетическом комплексе России является тот факт, что большая часть крупных нефтяных месторождений находится на заключительной стадии разработки и характеризуется высокой обводненностью добываемой продукции и ухудшением структуры запасов, большую долю которых составляют трудноизвлекаемые, приуроченные к малопродуктивным горизонтам и застойным зонам, не вовлеченным в процесс разработки. Разработка горизонтов с малопродуктивными коллекторами собственной сеткой скважин зачастую имеет низкую экономическую и технологическую эффективность, либо вовсе неэффективна. Для поддержания добычи нефти на рентабельном уровне приходится увеличивать отбор обводненной жидкости, использовать более энергоемкие насосы и дополнительную инфраструктуру, увеличивать закачку воды через систему регулирования пластового давления. Все это

увеличивает капитальные вложения в разработку месторождения. Поэтому обоснование технологии одновременно-раздельной эксплуатации нескольких продуктивных пластов на многопластовых месторождениях становится актуальной. Опыт применения технологии ОРЭ единой сеткой скважин показывает высокие технологические и экономические результаты [1, с. 294–307; 2, с. 1020–1026; 3].

Весеннее нефтяное месторождение расположено в Шарканском районе Удмуртской Республики. В тектоническом отношении приурочено к Тыловайской возвышенности Верхнекамской впадины. Восточно-Быгинское поднятие, являющееся объектом исследования, открыто в 2001 г., с 2016 г. входит в состав Весеннего месторождения. На Восточно-Быгинском поднятии промышленная нефтеносность установлена в двух объектах: башкирский объект, пласты $A_{4-0+1+2}$, A_{4-3+4} башкирского яруса и

визейский объект, пласт С-III+IV тульского горизонта визейского яруса [4].

Башкирский объект сложен карбонатными отложениями – известняками органогенно-детритовыми, микрозернистыми. Коллекторы характеризуются низкой проницаемостью и

неоднородностью строения. Визейский объект представлен терригенными отложениями – песчаниками и алевролитами, характеризующимися более высокими коллекторскими свойствами. Сравнительная характеристика объектов представлена в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика объектов разработки

Параметр	Башкирский объект	Визейский объект
Тип коллектора	Карбонатный	Терригенный
Эффективная нефтенасыщенная толщина, м	2,0–4,5	2,0–4,0
Пористость, %	12–18	14–19
Проницаемость, мкм ²	0,005–0,050	0,010–0,100
Начальное пластовое давление, МПа	11,5	13,8
Вязкость нефти в пластовых условиях, мПа·с	24,5	35,7
Давление насыщения, МПа	6,35	8,37
Газосодержание, м ³ /т	14,69	12,5

На башкирском объекте пробурено 4 скважины, из них 3 действующие и 1 в бездействии. Проектный фонд реализован на 80%. Средняя обводненность по объекту достигла 96,7%, все действующие скважины являются малодобитными, дебит нефти менее 1 т/сут. Фактическая добыча составила 12,2% от НИЗ, текущий КИН – 0,024 при проектном 0,200. Средневзвешенное пластовое давление снизилось на 12,1% от начального.

На визейском объекте проектный фонд реализован на 33%. Обводненность достигла 96,4%, добыто 26,7% от НИЗ, текущий КИН – 0,069 при проектном 0,259. Скважина эксплуатируется при забойном давлении 3,1 МПа, что ниже давления насыщения 8,37 МПа и ниже проектного значения 6,3 МПа.

Анализ текущего состояния разработки позволяет выделить следующие проблемы:

- высокая обводненность продукции, более 96%;
- низкие дебиты нефти, менее 1 т/сут по башкирскому объекту;
- снижение пластового давления при естественном режиме разработки;
- не ввод визейского объекта в проектных объемах, реализовано 33% фонда;
- отсутствие гидродинамических исследований и мониторинга пластового давления.

Одновременно-раздельная эксплуатация ОРЭ – это технология, позволяющая осуществлять добычу нефти из двух и более продуктивных пластов одной скважиной с

использованием специального подземного оборудования, обеспечивающего разделение пластов и индивидуальное регулирование режимов работы по каждому объекту [2, с. 1020–1026; 5].

Применение технологии ОРЭ на Восточно-Быгинском поднятии обеспечивает следующие преимущества:

- экономические – сокращение капитальных затрат на строительство скважин практически в 2 раза, снижение затрат на обустройство месторождения, сокращение эксплуатационных затрат;
- технологические – вовлечение в разработку запасов визейского объекта без дополнительного бурения, возможность индивидуального регулирования режимов работы по каждому пласту, поддержание оптимального забойного давления;
- повышение нефтеотдачи – увеличение охвата пластов разработкой, довыработка остаточных запасов.

Для успешного внедрения технологии ОРЭ необходимо соблюдение геологических условий: расстояние между разобщаемыми пластами достаточно для установки пакера, не менее 3–5 м, наличие непроницаемых разделяющих пропластков, герметичность эксплуатационной колонны. Анализ геолого-физических характеристик башкирского и визейского объектов показывает, что указанные условия выполняются: расстояние между объектами составляет более 100 м, разделяющие отложения

представлены плотными непроницаемыми породами.

Внедрение технологии ОРЭ рекомендуется на двух скважинах, башкирского и визейского объекта. Выбор данных скважин обусловлен тем, что они вскрыли оба продуктивных объекта, их конструкция позволяет спустить оборудование для ОРЭ, расстояние между объектами достаточно для установки пакера.

Рекомендуемая технологическая схема включает:

- нижний пакер, устанавливаемый между башкирским и визейским объектами;
- верхний пакер, фиксирующий колонну НКТ;

- двухрядную колонну НКТ;
- устьевое оборудование для отдельного сбора и измерения продукции.

Для каждого объекта рекомендуется поддержание индивидуальных режимов работы:

- башкирский объект – фонтанный/газлифтный способ, забойное давление 5,0–6,0 МПа, регулирование отбора штуцером;
- визейский объект – ЭЦН, забойное давление 7,0–8,0 МПа, регулирование отбора частотным преобразователем.

Реализация предлагаемых мероприятий позволит достичь следующих результатов, таблица 2.

Таблица 2

Ожидаемые результаты внедрения ОРЭ

Показатель	До внедрения	После внедрения
Действующий фонд по визейскому объекту, скв.	1	3
Коэффициент охвата визейского объекта	0,50	0,75–1,00
Средний дебит нефти по объектам, т/сут	1,0–1,5	3,0–5,0
Дополнительная добыча нефти, тыс. т/год	–	1,5–2,5
Экономия капитальных затрат, млн руб.	–	160–200

Применение технологии одновременно-раздельной эксплуатации на Восточно-Быгинском поднятии Весеннего месторождения является обоснованным и экономически целесообразным решением. Внедрение ОРЭ на рассматриваемых скважинах позволит вовлечь в разработку запасы визейского объекта без дополнительного бурения, обеспечив экономию капитальных затрат 160–200 млн руб. и дополнительную добычу нефти 1,5–2,5 тыс. т/год. Предложенная технологическая схема с двухпакерной компоновкой и раздельной эксплуатацией объектов позволяет учитывать индивидуальные геолого-физические характеристики каждого пласта и оптимизировать режимы их разработки.

Литература

1. Коренева С.М., Красноперова С.А. Перспективы разработки Вереиско-Башкирского объекта Весеннего поднятия Весеннего месторождения нефти на основе уточненной геологической модели // Управление техносферой:

электрон. журнал. – 2022. – Т. 5, Вып. 3. – С. 294–307.

2. Зайнуллин М.Н. Повышение эффективности эксплуатации скважин путем внедрения одновременно-раздельной добычи из нескольких объектов на примере Яуркинского месторождения // Вестник науки. – 2023. – № 11 (68), Т. 3. – С. 1020–1026.

3. Новокшенов Д.Н., Иванова Т.Н. Анализ применения технологии одновременно-раздельной эксплуатации на многопластовых месторождениях Удмуртии. – Режим доступа: <http://priority2019.conf.udsu.ru/files/1396354947.pdf>.

4. Васильев Д.М. Технологическая схема разработки Весеннего нефтяного месторождения Удмуртской Республики: отчет / ЗАО «ИННЦ». – Ижевск, 2024.

5. Леонов И.В. Повышение эффективности технологии одновременно-раздельной разработки нескольких эксплуатационных объектов: на примере месторождений Западной Сибири: диссертация ... кандидата технических наук. – 2011.

UTEMISOVA Regina Rizabekovna

Student, Udmurt State University, Russia, Izhevsk

*Scientific Advisor – Associate Professor of the Udmurt State University,
Candidate of Physico-Mathematical Sciences Nurgayanov Rafael Raifovich*

JUSTIFICATION FOR THE INTRODUCTION OF SIMULTANEOUS-SEPARATE OPERATION TECHNOLOGY AT THE VOSTOCHNO-BYGINSKY UPLIFT OF THE VERNAL FIELD

Abstract. *The article considers the problems of the development of the Bashkir and Viseisk facilities of the Vostochno-Byginsky uplift of the Vernal oil field, characterized by high water content, more than 96% and low oil reserves with significant residual recoverable reserves. The geological and physical characteristics of the facilities, the current state of the well stock and their performance indicators are analyzed. The expediency of introducing the technology of simultaneous and separate operation of ORE at two wells is substantiated. A technological scheme of the EPR with a two-packer layout is proposed, which allows separate operation of the Bashkir facility by a fountain/gas lift method, and the Vise facility by an electric centrifugal pump. The expected results of the implementation have been determined: capital cost savings of 160-200 million rubles, additional oil production of 1.5–2.5 thousand tons/year, an increase in the coverage ratio of the Vise facility from 0.50 to 0.75–1.00.*

Keywords: *simultaneous-separate operation, ORE, multilayer deposit, Bashkir facility, Vizeysky facility, enhanced oil recovery, Vernal deposit.*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Алаза Мохаммед Махмуд Абд Заид

магистрант, Уфимский государственный нефтяной технический университет –
филиал в г. Октябрьском, Россия, г. Октябрьский

Научный руководитель – профессор

*Уфимского государственного нефтяного технического университета –
филиала в г. Октябрьском, доктор технических наук Вафин Риф Вакилович*

ОБОСНОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЯ СЕТКИ СКВАЖИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БУРЕЙКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматривается задача повышения эффективности разработки карбонатных отложений среднего карбона Бурейкинского месторождения за счет оптимизации плотности сетки скважин. Обоснована актуальность уплотняющего бурения для сложнопостроенных залежей с неоднородными фильтрационно-емкостными свойствами и изменчивой продуктивностью. На основе сопоставления трех расчетных вариантов разработки показано, что чрезмерное уплотнение сетки повышает капиталоёмкость проекта и не обеспечивает пропорционального роста экономического результата. Наиболее рациональным признан вариант с треугольной сеткой наклонно-направленных скважин с шагом 200 м, обеспечивающий наибольшую накопленную добычу нефти и лучший интегральный показатель среди рассмотренных вариантов.

Ключевые слова: Бурейкинское месторождение, карбонатные коллекторы, сетка скважин, уплотняющее бурение, поддержание пластового давления, коэффициент извлечения нефти, технико-экономическая оценка.

Введение

Большинство зрелых нефтяных месторождений характеризуется постепенным снижением дебитов, ростом доли трудноизвлекаемых запасов и ухудшением структуры остаточных запасов. Для карбонатных коллекторов эта проблема усиливается трещиноватостью, неоднородностью разреза и неравномерным охватом заводнением. В таких условиях простое продолжение действующей схемы разработки часто не позволяет поддерживать требуемые темпы отбора нефти без дополнительных геолого-технических мероприятий.

Одним из наиболее распространенных направлений повышения нефтеотдачи является уплотнение сетки скважин. Его инженерный смысл состоит в сокращении расстояния между зонами отбора и нагнетания, увеличении охвата залежи воздействием и вовлечении в разработку слабо дренируемых участков.

Однако уплотнение не должно рассматриваться как самоцель: при избыточном числе скважин резко возрастают капитальные и эксплуатационные затраты, а прирост добычи может оказаться ниже ожидаемого.

Цель статьи – обосновать рациональный вариант уплотнения сетки скважин для карбонатных отложений среднего карбона Бурейкинского месторождения на основе сопоставления технологических и экономических показателей трех расчетных схем разработки.

Характеристика объекта исследования

Бурейкинское нефтяное месторождение расположено в районе с развитой нефтепромысловой инфраструктурой, что снижает часть инфраструктурных ограничений при реализации новых проектных решений. Район обеспечен энергетическими мощностями и находится вблизи действующих нефтепроводных систем и обустроенных месторождений.

Геологическое строение месторождения является сложным. Нефтеносность связана с несколькими продуктивными горизонтами, включая карбонатные отложения верейского и башкирского объектов. Коллекторы характеризуются неоднородностью фильтрационно-емкостных свойств, литологической изменчивостью, локальными поднятиями и значительной ролью водонефтяных зон. Для таких объектов эффективность заводнения и размещения фонда скважин зависит не только от числа скважин, но и от согласованности сетки с геологическим строением пласта.

В действующей системе разработки проблема поддержания добычи связана с падением дебитов и необходимостью вовлечения дополнительных запасов. В качестве базового инженерного решения рассматривается объединение верейских и башкирских пластов в единый эксплуатационный объект при сопоставимых фильтрационно-емкостных свойствах. Такой подход позволяет избежать создания отдельных самостоятельных сеток скважин для близких по характеристикам пластов и снизить избыточные затраты.

Материалы и методы исследования

Методическая основа исследования включает анализ геолого-физических условий месторождения, оценку состояния разработки, сопоставление расчетных технологических показателей и технико-экономическое сравнение вариантов. Рассмотрены три варианта, различающиеся плотностью сетки, шагом между скважинами, составом проектного фонда и

интенсивностью поддержания пластового давления.

Первый вариант отражает базовую схему с треугольной сеткой и расстоянием между скважинами 300 м. Второй вариант предполагает уплотнение до треугольной сетки с шагом 200 м и бурение 28 скважин, включая 19 добывающих и 9 нагнетательных. Третий вариант предусматривает дальнейшее уплотнение до шага 150 м с бурением 45 скважин, включая 30 добывающих и 15 нагнетательных. Сравнение выполнено по плотности сетки, уровню добычи нефти, продолжительности проекта, накопленной добыче, коэффициенту извлечения нефти, капитальным и эксплуатационным затратам, а также по интегральному показателю эффективности.

Результаты и обсуждение

Сравнение вариантов показывает, что уменьшение шага сетки действительно влияет на технологические показатели, но эффект является нелинейным. При переходе от варианта 1 к варианту 2 плотность сетки возрастает существенно: приведенная площадь на одну скважину снижается с 21,6 до 8,4 га/скв. Это сопровождается ростом проектного уровня добычи нефти с 11,9 до 20,9 тыс. т и увеличением накопленной добычи нефти за проектный период с 214,0 до 246,0 тыс. т. При дальнейшем уплотнении до 5,4 га/скв. проектный уровень добычи нефти составляет 19,9 тыс. т, а накопленная добыча за проектный период – 234,8 тыс. т, то есть ниже, чем во втором варианте.

Таблица

**Сравнительная характеристика расчетных вариантов разработки
(составлено по расчетным данным ВКР)**

Показатель	Ед. изм.	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Шаг сетки скважин	м	300	200	150
Плотность сетки	га/скв.	21,6	8,4	5,4
Фонд скважин для бурения	шт.	7	28	45
Проектный уровень добычи нефти	тыс. т	11,9	20,9	19,9
Время разработки проекта	лет	79	62	36
Накопленная добыча нефти за проектный период	тыс. т	214,0	246,0	234,8
Коэффициент извлечения нефти	доли ед.	0,206	0,232	0,223
Совокупный объем закачки воды с начала разработки	тыс. м ³	2638,6	2050,6	1698,1
ЧДД при ставке 15%	млн руб.	22,0	13,3	-141,4
Интегральный показатель Топт	доли ед.	2,442	3,000	1,138

Полученные результаты позволяют сделать важный вывод: максимальное уплотнение сетки не является автоматически лучшим

вариантом. Третий вариант обеспечивает самый короткий расчетный срок разработки, однако требует наибольшего числа скважин и

характеризуется отрицательным чистым дисконтированным доходом за проектный период. Это означает, что технологическое ускорение отбора не компенсирует роста капитальных и эксплуатационных затрат.

Второй вариант является более сбалансированным. Он обеспечивает максимальную накопленную добычу нефти за проектный период, наибольший КИН среди рассмотренных вариантов и лучший интегральный показатель. Несмотря на то, что ЧДД за проектный период у варианта 1 выше, его технологический эффект слабее: ниже проектный уровень добычи нефти, ниже накопленная добыча и значительно более длительный период разработки. Поэтому при выборе рациональной схемы важно учитывать не один показатель, а совокупность технологических и экономических критериев.

Практическая ценность второго варианта заключается в том, что он повышает дренированность залежи без чрезмерного роста плотности фонда. Треугольная сетка с шагом 200 м позволяет приблизить фронт вытеснения к зонам отбора, улучшить охват пласта воздействием и одновременно избежать избыточного бурения, характерного для варианта 3. Для карбонатных коллекторов с неоднородными ФЕС такой компромисс особенно важен, поскольку водопроводящие трещины и литологическая изменчивость могут снизить полезный эффект от чрезмерной интенсификации заводнения.

Технико-экономическое обоснование рекомендуемого варианта

Экономическое сравнение подтверждает, что выбор варианта должен базироваться на балансе прироста добычи и затрат. Реализация варианта 1 требует 157,7 млн руб. капитальных вложений и 618,8 млн руб. эксплуатационных затрат. Для варианта 2 эти показатели составляют 303,9 и 852,9 млн руб. соответственно, а для варианта 3 – 402,4 и 931,3 млн руб. При этом третий вариант имеет отрицательный ЧДД, что делает его нерациональным для принятия в качестве проектного решения.

Вариант 2 требует больших инвестиций, чем базовый вариант, но дает более высокий технологический результат и максимальный интегральный показатель. Именно это делает его рекомендуемым: он не является самым дешевым, но обеспечивает лучшее соотношение между нефтеотдачей, проектной добычей, сроком разработки и экономической устойчивостью. При его реализации необходимо уделить

особое внимание контролю профиля приемистости, мониторингу обводненности, корректировке режимов нагнетания и своевременному проведению геолого-технических мероприятий.

Заключение

Проведенное сопоставление показывает, что уплотнение сетки скважин является обоснованным направлением повышения эффективности разработки карбонатных отложений Бурейкинского месторождения, однако оптимальный результат достигается не при максимальном числе скважин, а при рациональной плотности сетки.

Наиболее эффективным с инженерной и технико-экономической точки зрения является вариант с треугольной сеткой наклонно-направленных скважин с шагом 200 м и приведенной плотностью 8,4 га/скв. Данный вариант обеспечивает накопленную добычу нефти 246,0 тыс. т за проектный период, КИН 0,232 и максимальное значение интегрального показателя среди рассмотренных схем. Дальнейшее уплотнение до 150 м увеличивает затраты и снижает экономическую эффективность, поэтому не может быть рекомендовано без дополнительных условий, подтверждающих окупаемость.

Для практической реализации рекомендуемого варианта целесообразно дополнить проект системой постоянного мониторинга обводненности, давления и приемистости нагнетательных скважин. Это позволит оперативно корректировать режимы разработки, предотвращать преждевременное обводнение добывающего фонда и поддерживать эффективность выбранной сетки скважин на протяжении рентабельного периода разработки.

Литература

1. Дополнение к технологической схеме разработки Бурейкинского нефтяного месторождения. Книга 1 / рук. В.Н. Петров. – Бугульма, 2018. – 295 с.
2. Проект разработки Бурейкинского нефтяного месторождения. – Бугульма, 2017.
3. Закиров С.Н. Анализ проблемы «Плотность сетки скважин – нефтеотдача». – М.: Грааль, 2012. – 314 с.
4. Газизов А.А. Увеличение нефтеотдачи неоднородных пластов на поздней стадии разработки. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2002. – 639 с.
5. Сургучев М.Л., Колганов В.А., Гавура А.В. и др. Извлечение нефти из карбонатных коллекторов. – М.: Недра, 1987. – 230 с.

6. Нургалиев А.А., Хабибуллин Л.Т. Анализ влияния плотности сетки скважин на нефтеизвлечение и развитие систем заводнения в карбонатных коллекторах мелких месторождений Республики Татарстан // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2016. – № 3. – С. 234-238.

7. Хабибрахманов А.Г., Хакимзянов И.Н., Шешдиров Р.И. Исследование эффективности опытно-промышленных работ по уплотнению сетки скважин на башкирских отложениях Соколкинского месторождения с использованием геолого-технологической модели // Георесурсы. – 2017. – Т. 19. – № 3. – Ч. 2. – С. 292-300.

8. Юдин Е.В., Лубнин А.А., Рощектаев А.П. Оценка коэффициента охвата сеткой с использованием данных эксплуатации скважин // Территория Нефтегаз. – 2011. – № 4. – С. 40-45.

9. ГОСТ 7.32–2017. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

10. ГОСТ Р 7.0.5–2008. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.

Alaza Mohammed Mahmoud Abd Zayed

Master's Student,

Ufa State Petroleum Technical University – Branch in Oktyabrsky, Russia, Oktyabrsky

*Scientific Advisor – Professor of the Ufa State Petroleum Technical University –
Branch in Oktyabrsky, Doctor of Technical Sciences Vafin Rif Vakilovich*

JUSTIFICATION OF THE WELL GRID SEALING TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE DEVELOPMENT OF CARBONATE DEPOSITS OF THE BUREIKINSKOYE FIELD

Abstract. *The article considers the task of increasing the efficiency of the development of carbon deposits of the middle carboniferous of the Bureikinsky deposit by optimizing the density of the well grid. The relevance of sealing drilling for complex deposits with heterogeneous filtration and capacitance properties and variable productivity is substantiated. Based on a comparison of three design development options, it is shown that excessive grid compaction increases the capital intensity of the project and does not ensure a proportional increase in economic results. The option with a triangular grid of directional wells with a pitch of 200 m was found to be the most rational, providing the highest accumulated oil production and the best integral indicator among the options considered.*

Keywords: *Bureikinskoye field, carbonate reservoirs, well grid, sealing drilling, reservoir pressure maintenance, oil recovery coefficient, technical and economic assessment.*

БЕСПАЛОВ Александр Владимирович

кандидат технических наук, доцент, главный специалист отдела локальных экспертиз, Ханты-Мансийский филиал ФАУ «Главгосэкспертиза России», Россия, г. Ханты-Мансийск

**ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНЫ ЗАЩИТЫ МОЛНИЕПРИЕМНИКОВ
В СООТВЕТСТВИИ С НОРМАТИВНЫМИ ДОКУМЕНТАМИ**

Аннотация. Для повышения эффективности и доказательности проектных решений требуется использовать все возможности нормативных документов. Цель настоящей статьи – выяснение принципов расчета зон защиты от прямых ударов молнии и их использование для гибкого проектирования.

Ключевые слова: проектирование, молниезащита, нормативные документы по молниезащите, стержневые молниеотводы, надёжность молниезащиты.

Явление молнии и её воздействие представляет собой один из серьёзных факторов воздействия природных явлений на здания и сооружения. Вероятностный характер не позволяет гарантировать защиту от молнии даже при правильно спроектированной системе молниезащиты. Наиболее серьёзными последствиями грозит прямой удар молнии, поэтому установлению защитных зон молниеотводов уделяется внимание как в научных исследованиях, так и в нормативных документах.

Основные нормативные документы, содержащие расчет молниеотводов:

1. ГОСТ Р 59789-2021 (МЭК 62305-3:2010). Национальный стандарт Российской Федерации. Молниезащита. Часть 3. Защита зданий и сооружений от повреждений и защита людей и животных от электротравматизма;

2. РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений»;

3. СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций»;

4. СТО Газпром 2-1.11-170-2007 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и коммуникаций ОАО «Газпром»;

5. РД-91.020.00-КТН-276-07 Нормы проектирования молниезащиты объектов магистральных нефтепроводов и коммуникаций ОАО «АК «Транснефть» и дочерних акционерных обществ;

6. СТО РЖД 08.026-2015 «Устройства железнодорожной инфраструктуры. Защита от атмосферных и коммутационных перенапряжений. Устройства молниезащиты и заземления технических средств. Технические требования»;

7. СТО 5694700729.240.01.22156947007-221-2016 (ОАО «ФСК ЕЭС») «Руководство по защите электрических сетей напряжением 110-750 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений»;

8. СТО 56947007-29.240.02.001-2008 (ОАО «ФСК ЕЭС») «Методические указания по защите распределительных электрических сетей напряжением 0,4-10 кВ от грозовых перенапряжений»;

9. ВСП 22-02-07 (МО РФ) Нормы по проектированию, устройству и эксплуатации молниезащиты объектов военной инфраструктуры;

10. ГОСТ 35053-2023 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Обеспечение защиты от молнии и статического электричества. Основные положения;

11. ГОСТ Р 54418.24-2023(МЭК 61400-24:2019) Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Часть 24. Молниезащита.

Для осознанного выбора требуется оценить возможности нормативного обоснования и область применения документов. Эти вопросы освещались в [5, 6]. В текущей статье анализируются подходы к расчетам зон защиты молниеотводов. Практически в каждом документе искусственные молниеотводы можно разбить на следующие группы: 1) стержневые, тросовые молниеотводы с одним, двумя или несколькими элементами; 2) сетка; 3) молниеотводы сложной формы (в основном комбинации разных типов с участием естественных молниеотводов); 4) активные молниеотводы, использующие разные физические эффекты. Методы расчета применяются только для одного конструктивного типа молниеотводов или являются универсальными.

Для анализа в статье выбираются стержневые молниеотводы трёх типов: одиночные, двойные равной высоты и двойные разной высоты. Выбор обусловлен относительной простотой методов, используемых для стержневых молниеотводов. Расчет тросовых молниеотводов базируется на расчете стержневых при усложнении формул. Расчет сеток представляет собой простой выбор шага ячеек и не показателен. Расчет молниеотводов сложной формы индивидуален и его описание в нормативных документах неконкретное.

Активные молниеотводы интересны, обладают весьма привлекательными свойствами и могут стать значительно более эффективным, чем молниеотводы традиционной конструкции. Однако в нормативной литературе, обладающей доказательной силой, они полностью отсутствуют. Их применение – ответственность разработчика и владельца, что практически полностью исключает их использование в практике проектирования. В связи с этим рассматриваться они не будут.

Развитие методов определения зоны защиты молниеотводов и повышение их эффективности всегда являлось предметом внимания научного сообщества. В процессе развития теоретических положений развития молнии и защиты от прямых ударов были наработаны подходы, которые нашли выражение в методах расчёта, используемых в современных нормативных документах. Эволюция подходов весьма интересна и обязательно должна изучаться теми, кто дерзает развивать практическую часть молниезащиты [7].

В настоящее время в нормативных документах сложилось три метода расчета зон защиты молниеотводов:

1. Вероятностный или электрогеометрический. Зона защиты представляет собой конус с вершиной, находящейся ниже вершины молниеотвода. Формулы относительно просты, числовые коэффициенты в документах варьируются и зависят от надежности молниезащиты. Параметры зоны определяются только основной геометрией молниеотвода. Метод весьма популярен в связи с удобством использования для синтеза молниезащиты (основной задачи проектирования).

2. Метод защитного угла. Зона защиты определяется в соответствии со значениями угла защиты, который зависит от высоты молниеотвода и от высоты защищаемого объекта. Зависимость может быть нелинейной и в

принципе, способна учесть множество дополнительных факторов (наличие близких молниеотводов, форму, ионизацию и движение воздуха) – эта особенность пока не получила развитие в нормативной литературе. Однако для задачи синтеза метод неудобен, что породило его модификации в виде простых таблиц.

3. Метод катящейся (фиктивной) сферы. Зона защиты определяется путем манипуляций с обкатывающей объект сферой, радиус которой определяется уровнем надежности молниезащиты. Метод полностью учитывает геометрические особенности молниеотводов и защищаемых объектов. Задача синтеза практически нерешаема без использования специализированного программного обеспечения.

Ниже приведены формулы расчёта зон защиты, приведённые в нормативных документах. Большая часть формул базируется на параметре «надёжность молниезащиты», определяемая как $(1 - P)$, где P – допустимая вероятность прорыва молнии. В логике стандартов МЭК по молниезащите этот параметр отсутствует, уровень надёжности (LPL) определяется риск-подходами. Попытку однозначно сопоставить две оценки надёжности предприняли в СО153-34.21.122-2003, где I уровню соответствует надёжность 0,98, II – 0,95, III – 0,90 и IV – 0,80. Документ действующий, альтернативных версий нет, поэтому в дальнейшем оценку будем использовать.

Нумерация формул заменена нумерацией пунктов, каждый из которых представляет собой подход к расчету зоны защиты заданного типа и уровня надёжности. Подходов много, они отличаются числовыми значениями и методами расчета. Следует отметить, что наличие множества подходов не является противоречиями и разночтениями, а представляет собой гибкость подходов к проектированию. Каждый из способов расчета принят в качестве нормативного, каждый научно обоснован, каждый проверен на практике и признан годным. Разные подходы необходимы для гибкого подхода к проектированию и способствует нахождению наиболее эффективного подхода к процессу «задание – проектирование – строительство – эксплуатация». Нужно помнить, что эффективность бывает разная – оптимизируются сроки, капитальные затраты, эксплуатационные расходы, надёжность. Конкретный заказчик обладает собственным видением и комбинацией факторов эффективности.

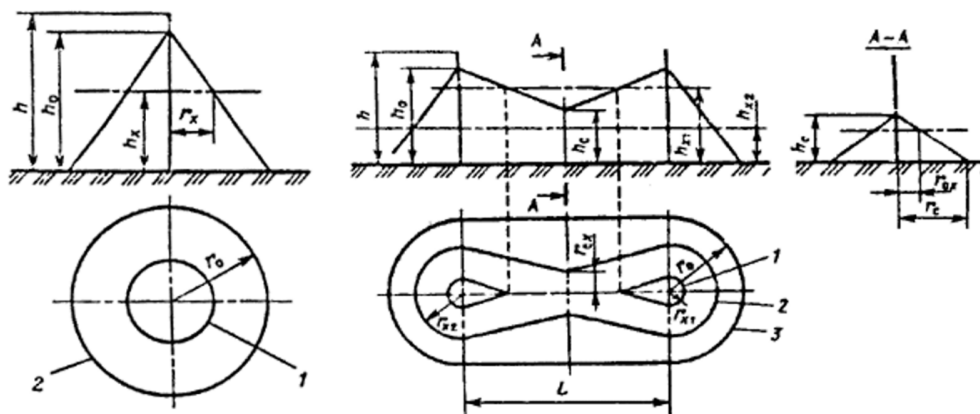


Рис. 1. Зоны защиты одиночного и двойного стержневого молниеотводов

1.1. Одиночный стержневой молниеотвод высота до 150 м (надёжность 0,995): $h_0 = 0,85h$, $r_0 = (1,1 - 0,002h)h$, $r_x = (1,1 - 0,002h)(h - h_x/0,85)$.

1.2. Одиночный стержневой молниеотвод высота до 150 м (надёжность 0,95): $h_0 = 0,92h$, $r_0 = 1,5h$, $r_x = 1,5(h - h_x/0,92)$.

1.3. Одиночный стержневой молниеотвод высота до 100 м (надёжность 0,9): $h_0 = 0,85h$, $r_0 = 1,2h$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

1.4. Одиночный стержневой молниеотвод высота от 100 до 150 м (надёжность 0,9): $h_0 = 0,85h$, $r_0 = [1,2 - 10^{-3}(h - 100)]h$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

1.5. Одиночный стержневой молниеотвод высота до 30 м (надёжность 0,99): $h_0 = 0,8h$, $r_0 = 0,8h$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

1.6. Одиночный стержневой молниеотвод высота от 30 до 100 м (надёжность 0,99): $h_0 = 0,8h$, $r_0 = [0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

1.7. Одиночный стержневой молниеотвод высота от 100 до 150 м (надёжность 0,99): $h_0 = [0,8 - 10^{-3}(h - 100)]h$, $r_0 = 0,7h$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

1.8. Одиночный стержневой молниеотвод высота до 30 м (надёжность 0,999): $h_0 = 0,7h$, $r_0 = 0,6h$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

1.9. Одиночный стержневой молниеотвод высота от 30 до 100 м (надёжность 0,999): $h_0 = [0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h - 30)]h$, $r_0 = [0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

1.10. Одиночный стержневой молниеотвод высота от 100 до 150 м (надёжность 0,999): $h_0 = [0,65 - 10^{-3}(h - 100)]h$, $r_0 = [0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h - 100)]h$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

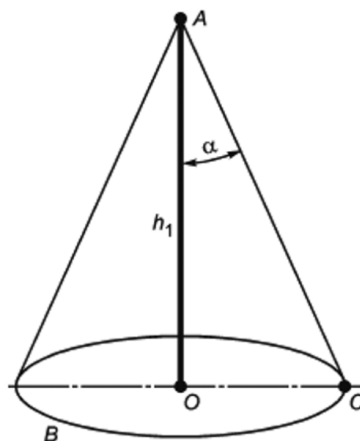
1.11. Одиночный стержневой молниеотвод высота от 30 до 100 м (надёжность 0,999): $h_0 = [0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h - 30)]h$, $r_0 = [0,6 - 1,97 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

1.12. Одиночный стержневой молниеотвод высота от 100 до 150 м (надёжность 0,999): $h_0 = [0,65 - 10^{-3}(h - 100)]h$, $r_0 = [0,46 - 2,25 \cdot 10^{-3}(h - 100)]h$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

1.13. Одиночный стержневой молниеотвод высота до 30 м (надёжность 0,99): $h_0 = 0,85h$, $r_0 = 0,8h$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

1.14. Одиночный стержневой молниеотвод высота от 30 до 100 м (надёжность 0,99): $h_0 = 0,85h$, $r_0 = [0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

1.15. Одиночный стержневой молниеотвод – метод защитного угла:



$$OC = r_0 = h \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

Рис. 2. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

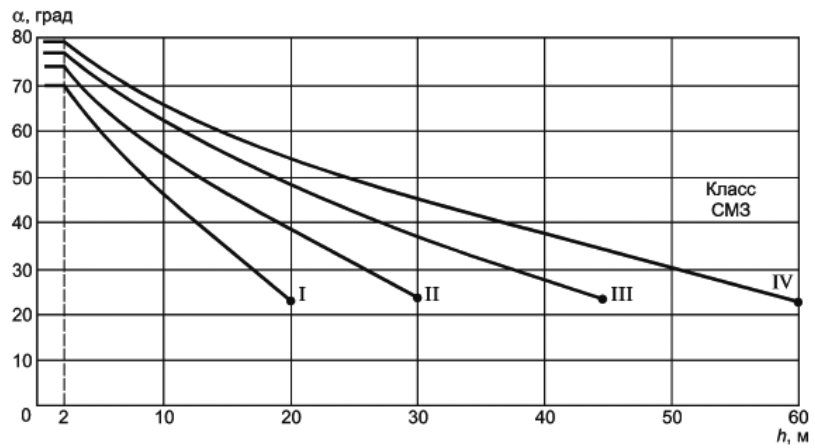


Рис. 3. Защитный угол для каждого класса СМЗ

1.16. Одиночный стержневой молниеотвод – метод защитного угла:

Таблица 1

Надежность защиты от ПУМ	Угол α , °, при вершине молниеотвода для зданий различной высоты h , м			
	20	30	45	60
0,98	25	*	*	*
0,95	35	25	*	*
0,90	45	35	25	*
0,80	55	45	35	25

1.17. Одиночный (внешний) и двойной (внутренний) стержневой молниеотвод – метод защитного угла:

Таблица 2

Требуемая эффективность внешней молниезащиты	Схема молниезащиты объектов высотой до 15 м								
	Одностерж- невая		Двухстерж- невая		Четырех- стержневая		Тросовая		
							Одиночный, молниезащитная сетка (периметр)		Двойной (замкнутый)
	площадь объекта в плане, м ²								
	До 0,5	До 100	До 100	До 400	До 2000	До 2500	До 2000		До 2500
	угол защиты, α_0								
	внешний		внутренний				внешний		внутренний
0,99	25	30	45	42	40	52	34		65
0,95	32	38	50	48	46	60	57		75
0,9	35	46	56	52	50	68	70		78

$$h = \frac{r_x}{\operatorname{tg} \alpha_0} + h_x, \tag{1}$$

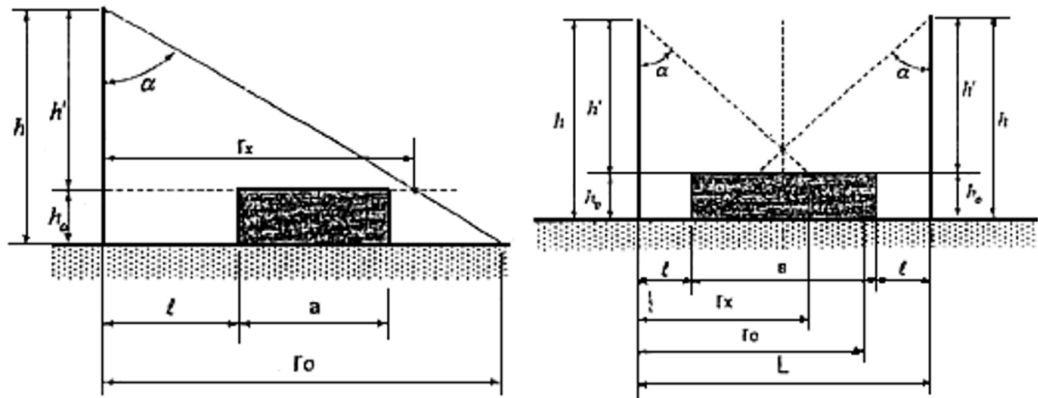


Рис. 4. Защитные углы одиночного и двойного стержневого молниеотводов

1.18. Одиночный стержневой молниеотвод – метод катящейся сферы:

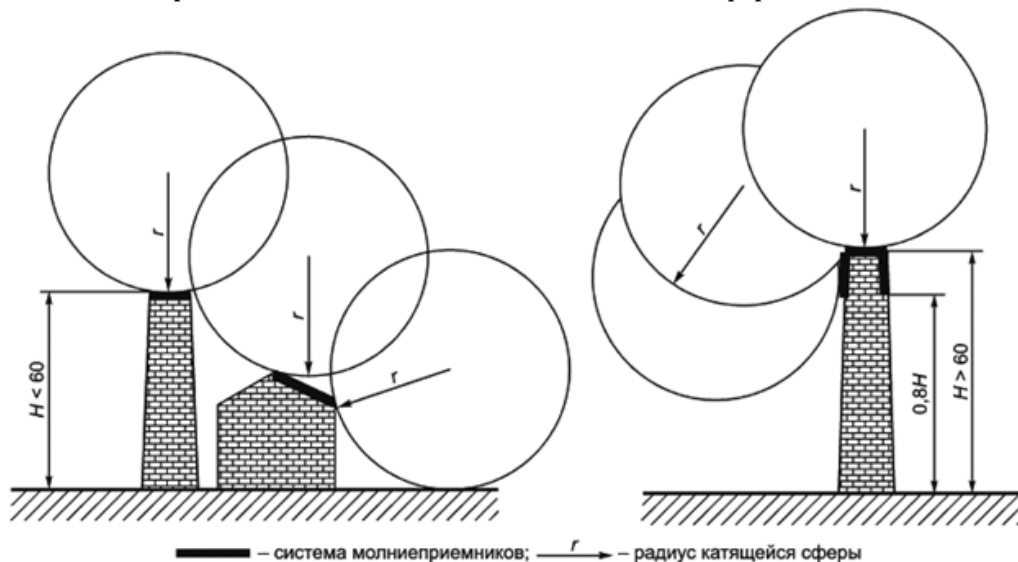


Рис. 5. Иллюстрация определения зоны защиты методом катящейся сферы

$r_I = 20 \text{ м}$, $r_{II} = 30 \text{ м}$, $r_{III} = 45 \text{ м}$, $r_{IV} = 60 \text{ м}$.

2.1. Двойной стержневой молниеотвод высота до 150 м (надёжность 0,995):

При $L \leq h$: $h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-3}h)(L - h)$, $r_c = r_0$,
 $r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c$.

При $2h < L \leq 4h$: $h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-3}h)(L - h)$,
 $r_c = r_0 \left(1 - \frac{0,2(L-2h)}{h}\right)$, $r_{cx} = r_c(h_c - h_x)/h_c$.

2.2. Двойной стержневой молниеотвод высота до 150 м (надёжность 0,95):

При $L \leq h$: $h_c = h_0$, $r_c = r_0$, $r_{cx} = r_x$.

При $h < L \leq 6h$: $h_c = h_0 - 0,14(L - h)$, $r_c = r_0$,
 $r_{cx} = r_c(h_c - h_x)/h_c$.

2.3. Двойной стержневой молниеотвод высота до 30 м (надёжность 0,9):

$h_0 = 0,85h$, $r_0 = 1,2h$, $L_{max} = 5,75h$, $L_0 = 2,5h$,
 $h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c)$.

$l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$, $r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c$.

2.4. Двойной стержневой молниеотвод высота от 30 до 100 м (надёжность 0,9):

$h_0 = 0,85h$, $r_0 = 1,2h$, $L_{max} = [5,75 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h$, $L_0 = 2,5h$,

$h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c)$, $l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$,

$r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

2.5. Двойной стержневой молниеотвод высота от 100 до 150 м (надёжность 0,9):

$h_0 = 0,85h$, $r_0 = [1,2 - 10^{-3}(h - 100)]h$, $L_{max} = 5,5h$,
 $L_0 = 2,5h$,

$h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c)$, $l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$,

$r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

2.6. Двойной стержневой молниеотвод высота до 30 м (надёжность 0,99):

$h_0 = 0,8h$, $r_0 = 0,8h$, $L_{max} = 4,75h$, $L_0 = 2,25h$,

$h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c)$, $l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$,

$r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

2.7. Двойной стержневой молниеотвод высота от 30 до 100 м (надёжность 0,99):

$h_0 = 0,8h$, $r_0 = [0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h$,

$L_{max} = [4,75 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h$,
 $L_0 = [2,25 - 0,0107(h - 30)]h$,

$h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c)$, $l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$,

$r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

2.8. Двойной стержневой молниеотвод высота от 100 до 150 м (надёжность 0,99):

$h_0 = [0,8 - 10^{-3}(h - 100)]h$, $r_0 = 0,7h$, $L_{max} = 4,5h$,
 $L_0 = 1,5h$,

$h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c)$, $l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$,

$r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

2.9. Двойной стержневой молниеотвод высота до 30 м (надёжность 0,999):

$h_0 = 0,7h$, $r_0 = 0,6h$, $L_{max} = 4,25h$, $L_0 = 2,25h$,

$h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c)$, $l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$,

$r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

2.10. Двойной стержневой молниеотвод высота от 30 до 100 м (надёжность 0,999):

$h_0 = [0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h - 30)]h$,
 $r_0 = [0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h$,

$L_{max} = [4,25 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h$,
 $L_0 = [2,25 - 0,0107(h - 30)]h$,

$h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c)$, $l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$,

$r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

2.11. Двойной стержневой молниеотвод высота от 100 до 150 м (надёжность 0,999):

$h_0 = [0,65 - 10^{-3}(h - 100)]h$, $r_0 = [0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h - 100)]h$, $L_{max} = 4,0h$,

$L_0 = 1,5h$, $h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c)$, $l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$,

$r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c$, $r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0$.

2.12. Двойной стержневой молниеотвод высотой до 100 м (надёжность 0,95):

$$h_0 = 0,92h, r_0 = 1,5h, L_{max} = 6h, L_0 = 2,5h,$$

$$h_c = h_0(L_{max} - L) / (L_{max} - L_c), l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)},$$

$$r_{cx} = r_0 (h_c - h_x) / h_c, r_x = r_0 (h_0 - h_x) / h_0.$$

2.13. Двойной стержневой молниеотвод высотой до 30 м (надёжность 0,99):

$$h_0 = 0,85h, r_0 = 0,8h, L_{max} = 4,75h, L_0 = 2,25h,$$

$$h_c = h_0(L_{max} - L) / (L_{max} - L_c), l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)},$$

$$r_{cx} = r_0 (h_c - h_x) / h_c, r_x = r_0 (h_0 - h_x) / h_0.$$

2.14. Двойной стержневой молниеотвод высотой от 30 до 100 м (надёжность 0,99):

$$h_0 = 0,85h, r_0 = [0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h,$$

$$L_{max} = [4,75 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h,$$

$$L_0 = [2,25 - 0,0107(h - 30)]h,$$

$$h_c = h_0(L_{max} - L) / (L_{max} - L_c), l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)},$$

$$r_{cx} = r_0 (h_c - h_x) / h_c, r_x = r_0 (h_0 - h_x) / h_0.$$

2.15. Двойной стержневой молниеотвод высотой до 150 м (надёжность 0,95):

$$\text{При } L \leq 1,5h: h_c = h_0, r_c = r_0, r_{cx} = r_x,$$

$$\text{При } 1,5h < L \leq 5h: h_c = h_0 - 0,14(L - 1,5h), r_c = r_0, r_{cx} = r_c(h_c - h_x) / h_c,$$

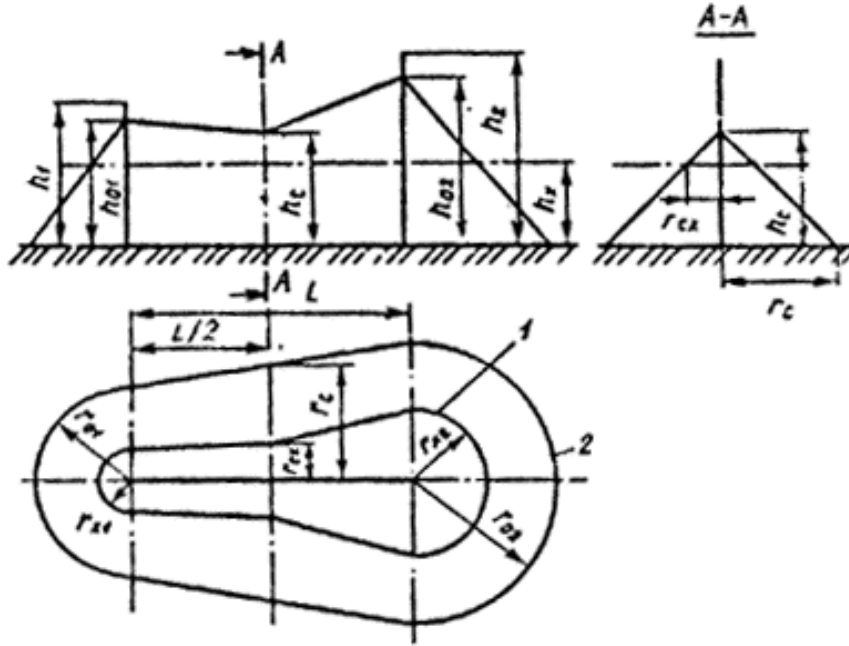


Рис. 6. Зоны защиты двух стержневых молниеотводов разной высоты

3.1. Двойной стержневой молниеотвод разной высоты до 150 м (надёжность 0,995):

При $L \leq h$:

$$h_{c1} = h_{01} - (0,17 + 3 \cdot 10^{-3}h_1)(L - h_1), r_{c1} = r_{01},$$

$$h_{c2} = h_{02} - (0,17 + 3 \cdot 10^{-3}h_2)(L - h_2), r_{c2} = r_{02},$$

$$h_c = (h_{c1} + h_{c2}) / 2, r_c = (r_{c1} + r_{c2}) / 2, r_{cx} = r_c(h_c - h_x) / h_c,$$

При $2h < L \leq 4h$:

$$h_{c1} = h_{01} - (0,17 + 3 \cdot 10^{-3}h_1)(L - h_1),$$

$$r_{c1} = r_{01} \left(1 - \frac{0,2(L - 2h_1)}{h_1} \right),$$

$$h_{c2} = h_{02} - (0,17 + 3 \cdot 10^{-3}h_2)(L - h_2),$$

$$r_{c2} = r_{02} \left(1 - \frac{0,2(L - 2h_2)}{h_2} \right),$$

$$h_c = (h_{c1} + h_{c2}) / 2, r_c = (r_{c1} + r_{c2}) / 2, r_{cx} = r_c(h_c - h_x) / h_c,$$

3.2. Двойной стержневой молниеотвод разной высоты до 150 м (надёжность 0,95):

При $L \leq h$:

$$h_{c1} = h_{01}, r_{c1} = r_{01}, h_{c2} = h_{02}, r_{c2} = r_{02},$$

$$h_c = (h_{c1} + h_{c2}) / 2, r_c = (r_{c1} + r_{c2}) / 2, r_{cx} = r_x,$$

При $h < L \leq 6h$:

$$h_{c1} = h_{01} - 0,14(L - h_1), r_{c1} = r_{01},$$

$$h_{c2} = h_{02} - 0,14(L - h_2), r_{c2} = r_{02},$$

$$h_c = (h_{c1} + h_{c2}) / 2, r_c = (r_{c1} + r_{c2}) / 2, r_{cx} = r_c(h_c - h_x) / h_c,$$

3.3. Двойной стержневой молниеотвод высотой до 30 м (надёжность 0,9):

$$h_{01} = 0,85h_1, r_{01} = 1,2h_1, h_{02} = 0,85h_2, r_{02} = 1,2h_2,$$

$$h_0 = (h_{01} + h_{02}) / 2, r_0 = (r_{01} + r_{02}) / 2,$$

$$L_{max} = 5,75h_{min}, L_0 = 2,5h_{min},$$

$$h_c = h_0(L_{max} - L) / (L_{max} - L_c), r_x = r_0 (h_0 - h_x) / h_0,$$

$$r_{cx} = r_0 (h_c - h_x) / h_c.$$

3.4. Двойной стержневой молниеотвод высотой от 30 до 100 м (надёжность 0,9):

$$h_{01} = 0,85h_1, r_{01} = 1,2h_1, h_{02} = 0,85h_2, r_{02} = 1,2h_2,$$

$$h_0 = (h_{01} + h_{02}) / 2, r_0 = (r_{01} + r_{02}) / 2,$$

$$L_{max} = [5,75 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h_{min} - 30)]h_{min}, L_0 = 2,5h_{min},$$

$$h_c = h_0(L_{max} - L) / (L_{max} - L_c), r_x = r_0 (h_0 - h_x) / h_0,$$

$$r_{cx} = r_0 (h_c - h_x) / h_c.$$

3.5. Двойной стержневой молниеотвод высотой от 100 до 150 м (надёжность 0,9):

$$h_{01} = 0,85h_1, r_{01} = [1,2 - 10^{-3}(h_1 - 100)]h_1,$$

$$h_{02} = 0,85h_2, r_{02} = [1,2 - 10^{-3}(h_2 - 100)]h_2,$$

$$h_0 = (h_{01} + h_{02}) / 2, r_0 = (r_{01} + r_{02}) / 2, L_{max} = 5,5h_{min},$$

$$L_0 = 2,5h_{min},$$

$$h_c = h_0(L_{max} - L) / (L_{max} - L_c), r_x = r_0 (h_0 - h_x) / h_0, r_{cx} =$$

$$r_0 (h_c - h_x) / h_c.$$

3.6. Двойной стержневой молниеотвод высота до 30 м (надёжность 0,99):

$$h_{01} = 0,8h_1, r_{01} = 0,8h_1, h_{02} = 0,8h_2, r_{02} = 0,8h_2, \\ h_0 = (h_{01} + h_{02})/2, r_0 = (r_{01} + r_{02})/2, L_{max} = 4,75h_{min}, \\ L_0 = 2,25h_{min},$$

$$h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c), r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0, \\ r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c.$$

3.7. Двойной стержневой молниеотвод высота от 30 до 100 м (надёжность 0,99):

$$h_{01} = 0,8h_1, r_{01} = [0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h_1 - 30)]h_1, \\ h_{02} = 0,8h_2, r_{02} = [0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h_2 - 30)]h_2, \\ h_0 = (h_{01} + h_{02})/2, r_0 = (r_{01} + r_{02})/2, \\ L_{max} = [4,75 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h_{min} - 30)]h_{min}, \\ L_0 = [2,25 - 0,01007(h_{min} - 30)]h_{min},$$

$$h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c), r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0, \\ r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c.$$

3.8. Двойной стержневой молниеотвод высота от 100 до 150 м (надёжность 0,99):

$$h_{01} = [0,8 - 10^{-3}(h_1 - 100)]h_1, r_{01} = 0,7h_1, \\ h_{02} = [0,8 - 10^{-3}(h_2 - 100)]h_2, r_{02} = 0,7h_2, \\ h_0 = (h_{01} + h_{02})/2, r_0 = (r_{01} + r_{02})/2, L_{max} = 4,5h_{min}, \\ L_0 = 1,5h_{min},$$

$$h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c), r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0, \\ r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c.$$

3.9. Двойной стержневой молниеотвод высота до 30 м (надёжность 0,999):

$$h_{01} = 0,7h_1, r_{01} = 0,6h_1, h_{02} = 0,7h_2, r_{02} = 0,6h_2, \\ h_0 = (h_{01} + h_{02})/2, r_0 = (r_{01} + r_{02})/2, L_{max} = 4,25h_{min}, \\ L_0 = 2,25h_{min},$$

$$h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c), r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0, \\ r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c.$$

3.10. Двойной стержневой молниеотвод высота от 30 до 100 м (надёжность 0,999):

$$h_{01} = [0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h_1 - 30)]h_1, \\ r_{01} = [0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h_1 - 30)]h_1, \\ h_{02} = [0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h_2 - 30)]h_2, \\ r_{02} = [0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h_2 - 30)]h_2, \\ h_0 = (h_{01} + h_{02})/2, r_0 = (r_{01} + r_{02})/2, \\ L_{max} = [4,25 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h_{min} - 30)]h_{min}, \\ L_0 = [2,25 - 0,01007(h_{min} - 30)]h_{min},$$

$$h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c), r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0, \\ r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c.$$

3.11. Двойной стержневой молниеотвод высота от 100 до 150 м (надёжность 0,999):

$$h_{01} = [0,65 - 10^{-3}(h_1 - 100)]h_1, r_{01} = [0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h_1 - 100)]h_1, \\ h_{02} = [0,65 - 10^{-3}(h_2 - 100)]h_2, r_{02} = [0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h_2 - 100)]h_2, \\ h_0 = (h_{01} + h_{02})/2, r_0 = (r_{01} + r_{02})/2, L_{max} = 4,0h_{min}, \\ L_0 = 1,5h_{min},$$

$$h_c = h_0(L_{max} - L)/(L_{max} - L_c), r_x = r_0(h_0 - h_x)/h_0, \\ r_{cx} = r_0(h_c - h_x)/h_c.$$

Таблица 3

Используемые в нормативных документах группы формул

	Одиночный стержневой молниеотвод	Двойной стержневой молниеотвод	Двойной стержневой молниеотвод разной высоты
ГОСТ Р МЭК 62305/59789	1.15, 1.18	1.15, 1.18	1.15, 1.18
РД 34.21.122-87	1.1, 1.2	2.1, 2.2	3.1, 3.2
СО 153-34.21.122-2003	1.3 – 1.10, 1.16	2.3 – 2.11	-
СТО Газпром 2-1.11-170	1.1-1.8, 1.11, 1.12	2.3 – 2.11	-
РД-91...(АК «Транснефть»)	1.2, 1.13, 1.14	2.12, 2.13, 2.14	-
СТО РЖД 08.026-2015	1.3 – 1.10	2.3 – 2.11	3.3 – 3.11
СТО ... (ОАО «ФСК ЕЭС»)	1.2, 1.3 – 1.10	2.3 – 2.11, 2.15	-
ВСП 22-02-07 (МО РФ)	1.17	1.17	1.17
ГОСТ 35053-2023	1.3 – 1.10	2.3 – 2.11	-
ГОСТ Р 54418.24	1.18	-	-

Как видно из таблицы 3, в нормативных документах используются все известные методы расчетов и их модификации. Модификации направлены на облегчение задачи синтеза, как основной задачи при проектировании. В наборах формул основной характеристикой

является уровень надёжности, а нормативные документы характеризуются областью применения. Области применения исследованы в [6], на этой основе можно построить совмещённую таблицу

Таблица 4

**Документы по молниезащите, соответствующие надёжности
и области применения для одиночных стержневых молниеотводов**

	Уровень надёжности						
	0,999	0,995	0,99	0,98	0,95	0,9	0,8
	Группы формул						
	1.8 1.9 1.10 1.11 1.12	1.1	1.5 1.6 1.7 1.13 1.14 1.17	1.15 1.16 1.18	1.2 1.15 1.16 1.17 1.18	1.3 1.4 1.15 1.16 1.17 1.18	1.15 1.16 1.18
Общественные и жилые здания	1.8 1.9 1.10	1.1	1.5 1.6 1.7 1.17	1.15 1.16 1.18	1.2 1.15 1.17 1.18	1.3 1.4 1.15 1.17 1.18	1.15 1.18
Промышленные здания и сооружения	1.8 1.9 1.10 1.11 1.12	1.1	1.5 1.6 1.7 1.13 1.14 1.17	1.15 1.16 1.18	1.2 1.15 1.17 1.18	1.3 1.4 1.15 1.17 1.18	1.15 1.18
Железнодорожные объекты	1.8 1.9 1.10	1.1	1.5 1.6 1.7 1.13 1.14		1.2	1.3 1.4	
Взрывоопасные установки	1.8 1.11 1.12	1.1	1.5 1.6 1.7 1.13 1.14 1.17	1.15 1.18	1.2 1.15 1.17 1.18	1.3 1.4 1.15 1.17 1.18	1.15 1.18
Нефтепродуктопроводы	1.8 1.9 1.10 1.11 1.12	1.1	1.5 1.6 1.7 1.13 1.14		1.2	1.3 1.4	
ЛЭП, подстанции	1.8 1.9 1.10 1.11 1.12	1.1	1.5 1.6 1.7 1.13 1.14	1.15 1.16 1.18	1.2 1.15 1.18	1.3 1.4 1.15 1.18	1.15 1.18
Контактные сети	1.8 1.9 1.10		1.5 1.6 1.7	1.15 1.16 1.18	1.15 1.18	1.3 1.4 1.15 1.18	1.15 1.18
Радио- и телевизионные антенны, и линии	1.8 1.9 1.10 1.11 1.12	1.1	1.5 1.6 1.7	1.15 1.16 1.18	1.2 1.15 1.18	1.3 1.4 1.15 1.18	1.15 1.18

	Уровень надёжности						
	0,999	0,995	0,99	0,98	0,95	0,9	0,8
	Группы формул						
Здания и сооружения, где обращаются взрывчатые вещества	1.8 1.9 1.10		1.5 1.6 1.7 1.17	1.16	1.17	1.3 1.4 1.17	
Ветроэнергетические установки	1.8 1.9 1.10	1.1	1.5 1.6 1.7	1.16	1.2 1.18	1.3 1.4 1.18	1.18

Таблица 4 даёт представление о возможности проектирования молниеотводов с разными уровнями надёжности при гибком использовании нормативной документации. Именно поэтому важны альтернативные версии и разнообразие подходов. Конечно, использование научной или справочной литературы может дать тот же эффект, но при проектировании важно пользоваться документами, входящими в доказательную базу технических регламентов. Такой подход позволяет обеспечить технологическую устойчивость строительной отрасли.

Литература

1. РД 34.21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.
2. СО-153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. - М. Издательство МЭИ, 2004 г.

3. ГОСТ Р 59789-2021 (МЭК 62305-3:2010) Молниезащита. Часть 3. Защита зданий и сооружений от повреждений и защита людей и животных от электротравматизма.

4. ГОСТ 35053-2023 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Обеспечение защиты от молнии и статического электричества. Основные положения.

5. Беспалов А.В. Нормативное обеспечение молниезащиты / А.В. Беспалов // Вестник государственной экспертизы. – № 02/2022. № 23. – С. 36-45.

6. Беспалов А.В. Нормативные основы организации молниезащиты / А.В. Беспалов // Актуальные исследования. – 2025. – № 49 (284). Ч. I. – С. 24-30.

7. Ротанов А. Эволюция российских зон молниезащиты. // Вести в электроэнергетике, № 2, 2021, С. 36-50.

BESPALOV Alexander Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Chief Specialist of the Department of Local Expertise,

Khanty-Mansiysk Branch of FAA Glavgosexpertiza of Russia, Russia, Khanty-Mansiysk

FORMATION OF A LIGHTNING RECEIVER PROTECTION ZONE IN ACCORDANCE WITH REGULATORY DOCUMENTS

Abstract. To increase the effectiveness and evidence of design decisions, it is necessary to use all the features of regulatory documents. The purpose of this article is to clarify the principles of calculating protection zones from direct lightning strikes and their use for flexible design.

Keywords: design, lightning protection, regulatory documents on lightning protection, rod lightning rods, reliability of lightning protection.

ВОРОБЬЁВА Екатерина Витальевна

преподаватель кафедры электроэнергетики и электротехники,
Дальневосточный государственный аграрный университета, Россия, г. Благовещенск

ВОЯКИН Сергей Николаевич

доктор технических наук, доцент,
Дальневосточный государственный аграрный университета, Россия, г. Благовещенск

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ПОСТРОЕНИЯ АСУ ИРРИГАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. В статье анализируются возможности российского вендора систем автоматизации. Данные решения приходят на смену ушедшим импортным технологиям. Рассмотрение ведётся в контексте автоматизации процессов в ирригационных системах.

Ключевые слова: АСУ, система ирригации, программируемый контроллер, SCADA-система, импортозамещение технологий.

Продовольственный сектор экономики играет важнейшую роль в обеспечении качества жизни населения страны. Наличие на рынке качественных и дешевых продуктов напрямую зависит от стабильности урожаев, которая, в свою очередь, зависит от множества факторов, среди которых: погодные условия, технологическое оснащение и т. д. Одним из важных процессов в поддержании высокой урожайности и обеспечении качества продуктов является система орошения (или ирригации). В условиях нестабильности современного климата контроль ирригационных процессов становится первостепенной задачей. В таких ситуациях неоценимый вклад осуществляют системы автоматического контроля, которые управляют процессами орошения культур в соответствии с заданными условиями и графиками. Кроме того, автоматические ирригационные системы позволяют существенно снизить расход водных ресурсов и обеспечить их рациональное использование [1, с. 1-18].

За последние 3 года сегмент устройств автоматизации сильно изменился ввиду сложной геополитической обстановки и переориентации рынков поставщиков и вендоров оборудования и программного обеспечения. В России сформировалась необходимость получения технологического суверенитета за счет формирования и внедрения собственных разработок в области информационных технологий в целом и в области проектирования и разработки отраслевых систем автоматизации, в частности.

Принцип построения автоматизированной системы управления

Системы автоматизации (СА) рассматриваются как комплекс унифицированных компонентов автоматизации, взаимоувязанных в законченные функциональные модули [2, с. 12-21]. Таким образом, системой автоматизации в общем смысле является совокупность программно-аппаратных средств, обеспечивающих выполнение всех функций по контролю и управлению технологическим процессом в автоматическом (полуавтоматическом) режиме. Такие системы объединяют все уровни иерархии системы управления процессом [3, с. 18-25]:

- **полевой уровень (уровень 0)**, включающий компоненты, непосредственно взаимодействующие с управляемым процессом или его исполнительными механизмами: сенсоры, измерительные приборы, приводная и коммуникационная техника;
- **уровень АСУ (уровень 1)**, выполняющий сбор и обработку информацию о состоянии процесса в реальном времени, расчет переменных, управляющих процессом и их передачу на исполнительные устройства, данный уровень также включает контуры регулирования технологических параметров – совокупность отдельных и функционально-связанных приборов, выполняющих определенную задачу по контролю, регулированию, сигнализации и управлению;
- **уровень диспетчерского контроля (уровень 2)** – контролирующий уровень,

предназначенный для общего слежения за процессом, обзора текущего состояния процесса: исполнительных устройств, датчиков, регистрации и архивирования параметров процесса, осуществления общего информационного взаимодействия, а также предоставления средств общей настройки и управления процессом;

- уровень предприятия (уровень 3) – системный верхний уровень, предназначенный в основном для коммерческого учета, на этом уровне применяются системы управления (MES-системы), решаются задачи подготовки и планирования, энергоучета и экономического учета.

Предложения российского рынка систем автоматизации в сфере агропромышленного комплекса

Оборудование систем автоматизации во множестве отраслей опирается на зарубежную техническую базу: программируемые логические контроллеры фирм Siemens, Schneider Electric, Allen Bradley зарекомендовали себя как высокопроизводительные и надежные устройства, предоставляющие широкую номенклатуру для реализации любой функции автоматизации. Однако после ухода подавляющего большинства зарубежных вендоров в 2022 году российский сегмент систем автоматики был вынужден подстроиться под возрастающий спрос на качественное и высокотехнологичное оборудование. Для этого был создан мощный импульс в виде разработки специализированных программ господдержки, предоставления льгот, обновления элементной базы и переориентации на новых поставщиков компонентов, разработки своих мощностей. Таким образом, на элементной базе российских конструкторов и ведущих китайских поставщиков к 2026 году российский рынок систем автоматизации продемонстрировал стремительную трансформацию, выпустив серии контроллеров, панелей визуализации, датчиков и интеллектуальных устройств с соответствующими системами программирования. Среди уже успевших хорошо зарекомендовать себя можно выделить [4, с. 5-14; 5, с. 42-51; 6, с. 10-19]:

- программируемые логические контроллеры фирмы ОВЕН (серия 200 и 210);
- датчики «Микрон» и «Метран», которые существенно расширили линейку своей продукции;
- контроллеры Regul (например, серия 500R) – способны полноценно заменить ПЛК Siemens промышленного исполнения;

- оборудование автоматизации Oni (ИЭК Групп), включающее широкий ассортимент устройств: ПЛК, панели операторов, частотные преобразователи, интеллектуальные реле и т. д.;

- программное обеспечение SCADA-Каскад, поддерживающее работу с широким диапазоном оборудования по протоколу OPC;

- программное обеспечение MasterSCADA 4D, которой интегрируется со множеством вендоров и позволяет разрабатывать комплексные системы автоматизации.

Перечисленные российские системы автоматизации имеют достаточное оснащение для выполнения функций локальной автоматики, в том числе и в сфере контроля климата и почв в сельскохозяйственных угодьях. В частности, они предлагают следующие отраслевые функции:

- реализация интеграции с сервисами метеосводок и прогнозов (например, интеграция MasterSCADA с «Яндекс-Погода»);

- предиктивная аналитика по наработке технологического оборудования систем орошения (например, резервирование насосов системы полива через интеллектуальные реле или ПЛК ОВЕН 210);

- применение преобразователей частоты для эффективного энергосберегающего управления агрегатами (преобразователи частоты Oni A150 или A310);

- применение технологий машинного обучения и искусственного интеллекта в системах ПО «Агросигнал» позволяет прогнозировать дефицит влаги в почвах.

В подтверждение вышесказанного можно привести несколько кейсов успешного создания и внедрения российского ПО и оборудования в сферу агропромышленного комплекса:

В 2021–2025 ООО «Племенное хозяйство «Лазаревское» в Тульской области в рамках программы цифровизации перешло на российские комплексы 1С, «Агросигнал», интегрированные с решениями АСУ нулевого и первого уровня на аппаратной платформе ОВЕН. В результате новая системная архитектура позволила оптимизировать бизнес-процессы и консолидировать необходимые ресурсы для эффективного решения задач.

Заводом Дождевальных Машин разработана волгоградская дождевальная машина ZDM кругового типа радиусом 260 метров, которая может одновременно орошать площадь в 21 гектар. Данная машина работает полностью на российских комплектующих и свободно интегрируется для внешнего диспетчерского

управления с системами «Каскад», «TraceMode» и «MasterSCADA».

Компания ООО «Смарт Грэйд» (бренд САПСАН) разработала комплекс решений для интеграции систем с российским оборудованием программируемых контроллеров и интеллектуальных устройств.

Таким образом, несмотря на возникшие технологические проблемы и перебои, рынок РФ за последние 3 года сформировал позитивные тенденции в производстве, наладке технологических процессов, коллаборации с вендорами в части импортозамещения систем автоматизации и технологий в сфере агропромышленного комплекса. Тенденции демонстрируют непрерывный рост потенциала, способного с течением времени закрыть все технологические задачи отрасли и получить технологический суверенитет.

Литература

1. Щедрин В.Н. Состояние и перспективы развития мелиорации земель в Российской Федерации / В.Н. Щедрин, С.М. Васильев // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 1-18. ++– DOI 10.31774/2712-9357-2023-13-4-1-18.
2. Федоров Ю.Н. Принципы проектирования распределенных систем управления на базе унифицированных программно-аппаратных модулей / Ю.Н. Федоров, С.А. Воробьев // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2023. – № 5. – С. 12-21.
3. Смирнов А.В. Структурно-функциональный анализ программно-аппаратных комплексов для управления агротехническими процессами / А.В. Смирнов, Д.С. Иванов // Автоматизация в промышленности. – 2024. – № 2. – С. 18-25.
4. Кузнецов С.А. Анализ состояния российского рынка промышленной автоматизации в условиях ухода глобальных вендоров / С.А. Кузнецов // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2024. – № 2. – С. 5-14.
5. Баранов В.В. Государственная поддержка и стратегии импортозамещения в сегменте программно-аппаратных средств автоматизации / В.В. Баранов, И.В. Ларионов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2023. – № 11 (233). – С. 42-51.
6. Тихонов Д.В. Перспективы развития отечественных систем управления на базе российской и китайской компонентной базы / Д.В. Тихонов // Автоматизация в промышленности. – 2025. – № 1. – С. 10-19.

VOROBYEVA Ekaterina Vitalievna

Lecturer, Department of Electric Power Engineering and Electrical Engineering,
Far Eastern State Agrarian University, Russia, Blagoveshchensk

VOYAKIN Sergey Nikolaevich

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Far Eastern State Agrarian University, Russia, Blagoveshchensk

THE POSSIBILITIES OF MODERN MEANS OF BUILDING ACS FOR IRRIGATION PROCESSES IN THE CONTEXT OF IMPORT SUBSTITUTION OF TECHNOLOGIES

Abstract. The article discusses the main opportunities that a Russian vendor of automation systems can offer to replace the outdated imported technologies in relation to automation processes in irrigation systems.

Keywords: automated control system, irrigation system, programmable controller, SCADA system, technology import substitution.

ПЕТРОВ Даниил Русланович

инженер-электроник,

АО «Научно-исследовательский центр электронной вычислительной техники»,
Россия, г. Москва

МЕТОДЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ В ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация. Рассмотрены методы резервирования источников питания, проведен анализ подходов к резервированию, выявлены преимущества и ограничения в условиях динамических нагрузок.

Ключевые слова: отказоустойчивые вычислительные системы, резервирования источников питания, динамическая нагрузка, энергоэффективность.

Современные отказоустойчивые вычислительные системы (ОВС), обеспечивающие функционирование критической инфраструктуры в промышленности, на транспорте и в системах связи, предъявляют исключительно высокие требования к надежности электропитания. Даже кратковременные сбои в работе источников питания или перебои в подаче напряжения способны привести к невосполнимым потерям данных, сбоям технологических процессов и катастрофическим экономическим последствиям. Несмотря на совершенствование элементной базы, проблема обеспечения бесперебойного энергоснабжения остается одной из центральных при проектировании высоконадежных систем, что подтверждается устойчивым ростом числа публикаций в данной предметной области за последние три года.

Классические подходы к резервированию питания, в частности метод горячего резервирования с пассивным ожиданием, не всегда способны обеспечить необходимую скорость переключения и защиту от кратковременных импульсных помех. В условиях высоких динамических нагрузок, характерных для современных процессоров и серверного оборудования, запаздывание в активации резервного источника может приводить к флуктуациям напряжения, потере целостности вычислений и снижению общей производительности системы. Таким образом, недостаточная скорость реакции существующих схем на аварийные события формирует ключевую проблему, требующую поиска новых, более эффективных решений.

В критических вычислительных системах архитектуры электропитания традиционно

подразделяются на централизованные, распределенные и смешанные типы. В централизованной архитектуре все нагрузочные узлы получают энергию от единого источника или группы источников, объединенных в одном месте. Распределенная архитектура предполагает размещение нескольких автономных блоков питания в непосредственной близости от потребителей, что снижает потери в линиях передачи и повышает живучесть системы в целом. Смешанные конфигурации комбинируют признаки обоих подходов, позволяя гибко управлять потоками мощности и обеспечивать резервирование на разных уровнях иерархии.

Пассивное резервирование (холодный резерв) сопряжено с существенными задержками при переключении на резервный источник, что критично для систем с жесткими требованиями к времени восстановления. Кроме того, цепи управления активацией резерва могут сами выступать точками отказа, снижая общую надежность схемы. Эти ограничения делают холодный резерв малоэффективным при динамических нагрузках, требующих мгновенного восстановления питания. Активное резервирование (горячий резерв) обеспечивает мгновенное переключение, однако платой за это является постоянное энергопотребление резервных модулей и сложность синхронизации их работы. Как показывают количественные оценки, «наработка до отказа основной и такой же резервной подсистемы, находящейся в ненагруженном режиме с абсолютно надежным переключателем (269,62 ч) с основной и такой же резервной подсистемы, находящейся в нагруженном режиме (202,21 ч), значения различны

между собой на 67,41 ч, что говорит о более высокой степени надежности первого способа» [1, с. 57]. Таким образом, активное резервирование ухудшает показатель надёжности за счёт непрерывной нагрузки на все компоненты, что в сочетании с высоким энергопотреблением ограничивает его применение в автономных вычислительных системах.

Динамические нагрузки, такие как импульсные броски тока, вызывают просадки напряжения в момент переключения источников и тем самым нарушают стабильность работы вычислительных модулей. Во время переходного процесса взаимодействие внутреннего сопротивления источников, паразитных индуктивностей и конечной скорости срабатывания регуляторов приводит к кратковременным провалам и перенапряжениям. Эти переходные нарушения способны вывести за допустимые пределы напряжение питания логических и запоминающих элементов, спровоцировав ошибки исполнения, перезагрузки или нарушение временных характеристик. Анализ существующих решений показал, что традиционные схемы резервирования не обеспечивают достаточной защиты от таких мгновенных возмущений при резких изменениях нагрузки.

Гибридная архитектура питания базируется на интеграции аппаратных источников с программным управлением, что позволяет организовать динамическое резервирование с минимальной задержкой переключения при отказах. В основе такого подхода лежит разделение функций: аппаратный узел обеспечивает мгновенную коммутацию, а программная логика анализирует состояние системы и принимает решения о смене источника. «В ходе исследования были проанализированы различные методы резервирования, включая троирование и расщепление, а также предложены новые подходы к контролю работоспособности резервированных структур с использованием подложек и транзисторов с двумя затворами» [2, с. 293], что демонстрирует эволюцию в сторону

интеллектуального управления. Такая комбинация позволяет сократить время реакции на отказ до значений, недоступных чистым аппаратным схемам. Программный уровень системы управления питанием выполняет непрерывный мониторинг параметров источников, включая напряжение, ток и температуру, на основе которых строится предиктивная модель оценки надежности. При обнаружении отклонений от номинальных режимов или появлении признаков деградации компонентов алгоритм инициирует плавное переключение нагрузки на резервный источник без прерывания работы вычислительных модулей. Использование аппаратных ключей с низким сопротивлением открытого канала и малой емкостью затвора позволяет реализовать такое переключение за микросекунды, что принципиально для отказоустойчивых систем. В результате достигается баланс между скоростью реакции и гибкостью управления, характерный для комбинированных архитектур.

Ключевой особенностью разработанной гибридной архитектуры является разделение шин питания на группы в соответствии с критичностью нагрузки, что обеспечивает приоритетное резервирование для наиболее важных модулей вычислительной системы. Для каждого класса нагрузки устанавливается собственный порог срабатывания и порядок подключения резервных каналов, что предотвращает одновременную потерю питания целых функциональных блоков при отказе основного источника. Подложки и транзисторы с двумя затворами, упомянутые в анализе новых подходов, могут быть эффективно использованы для реализации гальванической развязки между группами. Такая сегментация позволяет минимизировать влияние локальных сбоев в цепях электропитания на критически важные подсистемы, повышая общую надежность вычислительного комплекса. Структурная схема гибридной архитектуры представлена ниже (рис. 1).



Рис. 1. Структурная схема гибридной архитектуры

Для предиктивной диагностики разработан алгоритм программного мониторинга.

Программный мониторинг представляет собой ключевой элемент гибридной системы управления питанием, обеспечивающий сбор и первичный анализ сигналов с датчиков напряжения, тока и температуры, установленных на каждом из резервируемых модулей. На основе непрерывного опроса датчиков формируется многомерная матрица состояния (State Matrix), которая включает как мгновенные значения параметров, так и их производные по времени. Использование такой матрицы позволяет оценивать не только текущую работоспособность источника, но и скорость изменения его характеристик. «Модули имеют функцию выключения по команде и обладают комплексом защит от перегрузки по току, короткого замыкания, перенапряжения по выходу, а также имеют сервисную функцию диагностики выходного напряжения» [3, с. 4], что является аппаратной основой для сбора необходимых данных. Обработка матрицы состояния реализуется через алгоритмы скользящего окна (Sliding Window), которые вычисляют скользящее среднее и дисперсию по каждому параметру за заданный временной интервал. Это позволяет отфильтровывать высокочастотные помехи и выделять значимые тренды, не создавая избыточной вычислительной нагрузки на микроконтроллер управления питанием. На основе полученных значений система принимает решение о динамическом перераспределении нагрузки между активным и резервными источниками, стремясь минимизировать время реакции на изменение условий работы. Таким образом, программный мониторинг обеспечивает интеллектуальную основу для последующих этапов диагностики и резервирования.

Предиктивная диагностика выходит за рамки простой констатации текущего

состояния и нацелена на выявление скрытых деградиционных процессов в силовых компонентах источников питания. Основным методом является анализ трендов ключевых параметров, таких как рост внутреннего сопротивления, дрейф выходного напряжения или увеличение температуры при номинальной нагрузке. Используя математические модели деградации, например, экспоненциальную аппроксимацию изменения обратного тока диодов или ускоренное старение конденсаторов по закону Аррениуса, алгоритм вычисляет прогнозируемое время до достижения критического порога отказа. Выявление предотказного состояния позволяет инициировать упреждающее переключение нагрузки на резервный источник без прерывания питания вычислительного модуля, что существенно повышает общую отказоустойчивость системы.

В рамках предложенной гибридной системы управления питанием, представленной ниже (рис. 2), узел динамического перераспределения нагрузки реализован на основе твердотельных коммутаторов, управляемых микроконтроллером. Такое решение обеспечивает высокое быстродействие: переход на резервный источник питания происходит менее чем за 1 мс. Это существенно снижает время простоя вычислительных модулей при отказах основного источника и соответствует требованиям отказоустойчивых систем.

Для предотвращения токовых ударов, возникающих при мгновенном переключении источников, в схему узла введены снабберные цепи и программно реализован алгоритм плавного нарастания тока. Эти меры позволяют избежать скачков напряжения и тока, сохраняя стабильное питание вычислительных модулей. Тем самым обеспечивается надежная работа системы в условиях динамических нагрузок.



Рис. 2. Алгоритм программного мониторинга гибридной системы управления питанием

Литература

1. Луковенко А.С., Зеньков И.В. Методы расчета надежности системы электроснабжения. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021; № 25(1): С. 57-65. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2021-1-57-65>.

2. Тюрин С.Ф., Никитин М.С. Методы обеспечения надежности элементов пилс путем многовариантного резервирования с

использованием логико-топологической модификации на транзисторном уровне // Вестник пнипу. электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2025. – № 54. – С. 282-286.

3. Негреба О. Обеспечение качества энергоснабжения импульсных нагрузок. Практические решения // Современная электроника. – 2015. – № 8. – С. 2-6.

PETROV Daniil Ruslanovich

Electronics Engineer,

JSC "Research Center for Electronic Computer Engineering", Russia, Moscow

METHODS OF POWER SUPPLY REDUNDANCY IN FAULT-TOLERANT COMPUTING SYSTEMS

Abstract. *The methods of power supply redundancy are considered, an analysis of approaches to redundancy is carried out, and advantages and limitations under dynamic loads are identified.*

Keywords: *fault-tolerant computing systems, power supply redundancy, dynamic load, energy efficiency.*

ПЕТРОВ Даниил Русланович

инженер-электроник,

АО «Научно-исследовательский центр электронной вычислительной техники»,
Россия, г. Москва

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КПД ТОПОЛОГИЙ CLASS-E, LLC И ZVS-ПОЛУМОСТА DCDC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье проведено моделирование высокочастотных топологий DC/DC преобразователей, проведен сравнительный анализ, проведена оценка влияния паразитных параметров на динамические потери, представлены результаты испытаний макета и анализ эффективности.

Ключевые слова: DC/DC преобразователи, GaN, Class-e, ZVS, LLC, импульсы, транзистор.

Выбор топологий преобразователей для работы на частотах свыше 1 МГц определяется их теоретической способностью минимизировать динамические потери, что напрямую связано с формой токов и напряжений на силовых ключах. Топологии Class-E, LLC и ZVS-полумост принципиально отличаются по механизмам снижения коммутационных потерь, что делает их перспективными для высокочастотного применения. Для класса Class-E характерно достижение нулевого напряжения и нулевого тока переключения одновременно, что теоретически позволяет свести динамические потери к минимуму. Как отмечено в литературе, «если длительности фронтов и спадов импульсов становятся соизмеримыми с периодом переключений $T = 1/f$, то они начинают все больше влиять на переходные процессы в системе» [1, с. 43], и именно топологии с мягким переключением, такие как Class-E, LLC и ZVS-полумост, позволяют управлять этими фронтами, обеспечивая высокий КПД.

Для корректного сравнительного анализа трех топологий была разработана единая методика моделирования в специализированном ПО, предусматривающая идентичные входные и выходные условия для всех схем. В качестве базовых параметров заданы входное напряжение 48 В, выходная мощность 100 Вт и частота переключения 1,5 МГц, что соответствует условиям типичного высокочастотного преобразователя. Модели включали силовые ключи на основе GaN-транзисторов, которые обеспечивают малые времена переключения и низкое сопротивление канала в открытом состоянии. Такой подход позволяет исключить влияние внешних факторов и сосредоточиться на внутренних

различиях топологий, выявляя их сильные и слабые стороны в чистом виде.

Результаты моделирования показали существенные различия в формах токов и напряжений на силовых ключах, что напрямую определяет уровень динамических потерь в каждой топологии. В топологии Class-E удалось достичь практически идеального режима нулевого напряжения переключения (ZVS), что минимизировало потери на включение и выключение, однако форма тока через ключ имела значительные пульсации, увеличивающие кондуктивные потери. Для LLC-резонансного преобразователя характерна синусоидальная форма тока в резонансном контуре, что обеспечивает низкие уровни электромагнитных помех, но при этом наблюдаются кратковременные всплески напряжения на ключах в моменты смены полупериодов. В то же время ZVS-полумост продемонстрировал наилучший компромисс: форма тока близка к прямоугольной, а напряжения на ключах переключаются при нулевом токе, что существенно снижает динамические потери. «Полученные данные показывают, что наибольшая энергетическая эффективность системы будет обеспечиваться при $w = 1$, такое решение является конструктивно наиболее простым» [2, с. 434], и для ZVS-полумоста этот оптимум достигается при относительно простой схеме управления.

Анализ чувствительности КПД каждой топологии к вариациям номиналов реактивных компонентов выявил, что Class-E является наиболее критичной к отклонениям индуктивности и емкости от расчетных значений: даже 5% разброс приводил к снижению КПД более чем на 2%. LLC-топология демонстрирует

умеренную чувствительность, но требует точной настройки резонансной частоты, особенно при учете эффектов перекрестной модуляции в многоячейковых структурах. В ZVS-полумосте изменение номиналов реактивных элементов в диапазоне $\pm 10\%$ практически не сказывалось на КПД, что объясняется наличием паразитной индуктивности в цепи стока, которая частично компенсирует отклонения. Таким образом, ZVS-полумост оказывается наиболее устойчивым к технологическому разбросу параметров и эффектам перекрестной модуляции, что делает его предпочтительным для практической реализации в условиях реального производства.

Классификация паразитных параметров печатной платы включает индуктивности монтажных петель и проводников, паразитную индуктивность выводов и переходов через vias, а также распределённые и межслойные ёмкости плат и компонентов. На частотах выше 1 МГц ключевыми для процессов переключения являются индуктивности затворных и силовых петель, ESL конденсаторов шины и взаимная индуктивность соседних проводников, которые определяют форму переходных фронтов и величину перенапряжений. Паразитные ёмкости проявляются как ёмкости между дорожками и землёй, ёмкости выводов полупроводников и паразитные C_{gd}/C_{ds} в силовых ключах, что влияет на времена заряда и разряда узлов и на энергетические потери при переключении. Моделирование топологий подтвердило высокую чувствительность динамических характеристик ключей к сочетанию этих индуктивных и ёмкостных составляющих.

Симуляции показали устойчивое увеличение динамических потерь при росте паразитной индуктивности монтажных петель, что проявляется в увеличении энергии перенапряжений и усилении дифференциального излучения на высоких частотах. «На частотах выше 200 кГц рост электромагнитного излучения дифференциальных помех обусловлен, прежде всего, влиянием паразитной индуктивности конденсаторов DC-шины» [3, с. 62]. Практические меры компенсации, отнесённые к результатам моделирования, включают минимизацию длины силовых петель, оптимальное размещение декупирующих конденсаторов близко к ключам и использование активных или пассивных демпферов для гашения перенапряжений. Эти методы позволяют сократить амплитуду dv/dt и связанных с ней

индуктивных потерь, что подтверждается распределением потерь, полученным в численных экспериментах.

Паразитная ёмкость печатной платы и компонентов прямо коррелирует с дополнительными потерями на перезаряд, поскольку энергия, запасённая в паразитной С при каждом переключении, частично рассеивается в форме тепла. При повторяющихся переключениях на высокой частоте добавочная энергия перезаряда $E = 1/2 \cdot C \cdot V^2$ суммируется и заметно снижает общий КПД, особенно при больших амплитудах перенапряжений и широких временных окнах перекрытия. Моделирование показало, что даже относительно небольшие величины паразитной ёмкости существенно увеличивают долю динамических потерь в суммарном энергетическом балансе преобразователя. Следовательно, количественное учёт паразитных ёмкостей необходим при выборе рабочего режима и расчёте энергетических потерь.

Выводы моделирования указывают на необходимость применения специализированного конструктива и материалов, направленных на минимизацию паразитных параметров и подавление их вредного влияния на динамические потери. «При проектировании системы следует с самого начала анализировать возможное воздействие электромагнитных помех и оптимизировать пути их распространения, начиная от источников ЕМІ с учетом доступных точек контроля.» [4, с. 61]. Рекомендации включают продуманную трассировку силовых петель, использование компонентов с низким ESL и контроль распределённых ёмкостей многослойной платы, что обеспечивает снижение перенапряжений и уменьшение энерговыделения при переключении. Реализация этих мер в экспериментальном макете представляется необходимым шагом для верификации моделируемых критериев выбора топологии и параметров компонентов.

Экспериментальный стенд для испытаний макета преобразователя мощностью 100 Вт был собран на основе топологии Class-E с использованием транзисторов на GaN. Испытания проводились при номинальном входном напряжении 48 В и варьировании нагрузки от 10 до 100 Вт в диапазоне температур окружающей среды от 25 до 60°C. Измерения осуществлялись с помощью прецизионного цифрового осциллографа Tektronix MSO64 и калиброванных токовых датчиков, погрешность которых не превышала 1,5 %. Для регистрации температуры

ключевых компонентов применялась тепловизионная камера Fluke Ti400.

Сравнение экспериментально полученных значений КПД с результатами моделирования показало, что в диапазоне рабочих частот от 1 до 7 МГц отклонение не превысило 2%. Основные расхождения наблюдались на частотах выше 5 МГц и были связаны с неточным учётом паразитных параметров монтажа и потерь в магнитных материалах. Так, «тестирование показало, что преобразователь работает при полной нагрузке 340 Вт с эффективностью 92,7%» [5, с. 34], что подтверждает тенденцию к снижению КПД при увеличении мощности и частоты.

Анализ эффективности предложенных методов повышения КПД показал, что

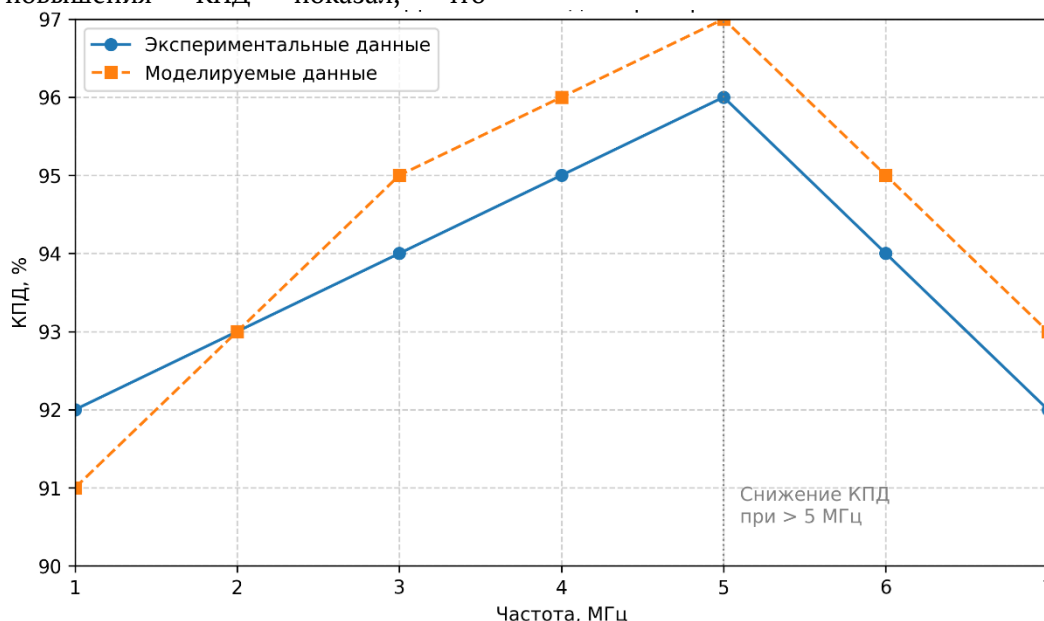


Рис. Зависимость КПД от частоты для преобразователя 100 Вт

Для обеспечения эффективной работы преобразователей с частотами переключения свыше 1 МГц первостепенное значение имеет корректный выбор полупроводниковых ключей. В данном диапазоне частот традиционные кремниевые MOSFET-транзисторы не могут обеспечить приемлемого уровня потерь из-за значительного времени обратного восстановления их паразитных диодов и относительно большого полного заряда затвора. Оптимальным решением являются GaN-транзисторы, которые характеризуются минимальным временем переключения и практически нулевым зарядом обратного восстановления, что кардинально снижает динамические потери. Основными критериями выбора конкретного прибора должны являться рабочее напряжение сток-исток (с запасом не менее 20% от номинального входного), максимальный

оптимизация топологии, выбор полупроводниковых приборов и пассивных компонентов позволили достичь пикового КПД 96,5% при номинальной нагрузке, что соответствует проектным ожиданиям. «Анализ эффективности предложенных методов повышения КПД: оптимизация топологии, выбор полупроводниковых приборов и пассивных компонентов позволили достичь пикового КПД 96,5% при номинальной нагрузке, что соответствует проектным ожиданиям» [6, с. 1023]. Таким образом, экспериментальная верификация подтвердила успешность выбранной стратегии минимизации потерь (рис.).

импульсный ток стока (превышающий пиковое значение тока в схеме в 1,5–2 раза), а также малое тепловое сопротивление переход-корпус (менее 2–3°C/Вт), позволяющее эффективно отводить тепло от кристалла.

Критическое влияние на величину коммутационных потерь при мегагерцовых частотах оказывают паразитные индуктивности и ёмкости силового контура. Для их минимизации следует оптимизировать конструкцию силовых ключей с целью упрощения внешних соединений и уменьшения индуктивности DC-шины, как указано в методических рекомендациях [7, с. 51]. Практическим решением является применение многослойных печатных плат с толстой медью (толщиной фольги не менее 2–3 унций), что позволяет снизить сопротивление проводников и индуктивность замкнутых токовых контуров. Рекомендуется выполнять

непосредственный монтаж GaN-ключей и их драйверов на радиатор через тонкую диэлектрическую прокладку с высокой теплопроводностью, что также уменьшает длину соединительных проводников и, как следствие, паразитные параметры.

Высокая частота переключения неизбежно порождает проблемы электромагнитных помех и требует особого внимания к тепловой оптимизации для соблюдения заданных показателей плотности мощности. Важным требованием ЭМС является установка входных дифференциальных и синфазных помехоподавляющих фильтров непосредственно на силовой плате, а также экранирование критичных высокочастотных цепей управления с помощью металлических экранов или заземлённых медных полигонов. Для отвода тепла от мощных ключей и магнитных компонентов при тепловыделении порядка 1 Вт/см^3 необходимо использовать радиаторы с принудительным воздушным охлаждением, обеспечивающие общую плотность устройства на уровне 10 Вт/см^3 без перегрева элементов. Размещение компонентов должно производиться блоками по функциональному принципу с минимизацией длины связей и разделением силовой и сигнальной частей.

Литература

1. Белов Г., Абрамов С. Проектирование и исследование понижающих импульсных преобразователей с обратным диодом и синхронным переключателем // Силовая электроника. – 2017. – № 3. – С. 42-46.
2. Завьялов В.М., Семькина И.Ю., Дубков Е.А. и др. Система беспроводного заряда аккумуляторов для рудничного электровоза // Записки горного института. – 2023. – № 261. – С. 428-442.
3. Винтрих А., Николаи У., Турски В. и др. Основы силовой электроники: импульсные режимы работы // Силовая электроника. – 2013. – № 2. – С. 46-50.
4. Колпаков А. Базовые проблемы силовой электроники: ЕМИ и ЕМС // Силовая электроника. – 2017. – № 6. – С. 56-60.
5. Соколов М. Расчет и построение повышающего dc/dc-преобразователя с мягкой коммутацией // Электронные компоненты. – 2026. – № 3. – С. 34-38.
6. Тата Д.П., Рамалингам Ш., Нандети Б.К. Повышающий zeta-преобразователь для фотоэлектрической сетевой системы // Рэнсит: радиоэлектроника. Наносистемы. информационные технологии. – 2024. – № 8. – С. 1009-1024.
7. Винтрих А., Николаи У., Турски В. и др. Основы силовой электроники: импульсные режимы работы // Силовая электроника. – 2013. – № 2. – С. 46-50.

PETROV Daniil Ruslanovich

Electronics Engineer,

JSC "Research Center for Electronic Computer Engineering", Russia, Moscow

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF CLASS-E, LLC AND ZVS HALF-BRIDGE DCDC CONVERTER TOPOLOGIES

Abstract. *The article presents the simulation of high-frequency DC/DC converter topologies, a comparative analysis, an assessment of the influence of parasitic parameters on dynamic losses, and the results of layout tests and efficiency analysis.*

Keywords: *DC/DC converters, GaN, Class-e, ZVS, LLC, pulses, transistor.*

САВЕЛЬЕВ Роман Александрович

ведущий инженер-конструктор,

Управление разработки вычислительной техники, АО «НИЦЭВТ», Россия, г. Москва

РАЗРАБОТКА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ВЫБОРА МЕЖДУ ЛИТЬЕМ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ И МЕХАНООБРАБОТКОЙ ДЛЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Аннотация. Статья посвящена разработке многокритериальной модели поддержки принятия решений при выборе между литьём по выплавляемым моделям и механической обработкой для корпусных деталей сложной геометрии. Выполнен факторный анализ, выделяющий четыре группы критериев: затратные, временные, качественные и рисковые. Построена математическая модель на основе взвешенной аддитивной свёртки с нормализацией частных показателей. Проведён анализ чувствительности модели к вариации входных параметров и весовых коэффициентов. Установлены пороговые значения интегрального показателя эффективности для различных диапазонов серийности. Результаты формируют аналитическую основу для обоснованного выбора технологического маршрута изготовления корпусных деталей.

Ключевые слова: литьё по выплавляемым моделям, механообработка, корпусные детали, многокритериальная модель, интегральный показатель, серийность, анализ чувствительности.

В условиях современного машиностроения, ориентированного на импортозамещение и гибкость производственных мощностей, предприятия РФ сталкиваются с необходимостью выбора между литьём по выплавляемым моделям и механообработкой при изготовлении корпусных деталей сложной геометрии. Отсутствие формализованных критериев для такого выбора зачастую приводит к неоптимальным решениям, которые выражаются в удорожании продукции, увеличении сроков изготовления и снижении адаптивности к изменениям рыночного спроса [1].

Литьё по выплавляемым моделям традиционно считается предпочтительным для сложных форм, однако при малых сериях и жёстких требованиях к точности оно может уступать механообработке из-за высоких начальных затрат на оснастку и длительного подготовительного этапа. Механическая обработка из заготовки, несмотря на большой объём съёма материала, обеспечивает более предсказуемое качество и сокращает время на переналадку [2]. Эти противоречия подчёркивают актуальность разработки количественной методики, способной учитывать совокупность технологических и экономических факторов.

Целью данной работы является создание многокритериальной модели, которая бы

позволяла по заданным параметрам детали – материалу, сложности геометрии и серийности – определять целесообразность замены литейной технологии на механообработку. Для достижения цели решаются задачи: системный анализ факторов эффективности обеих технологий применительно к корпусным деталям сложной формы; разработка системы критериев и математической модели для сравнительной оценки; анализ чувствительности модели и установление пороговых значений.

Сравнительный анализ производственных затрат и ограничений

При сопоставлении литья по выплавляемым моделям и механообработки из проката ключевое значение приобретает структура капитальных и переменных издержек. Литьё требует значительных первоначальных вложений в изготовление пресс-форм и модельной оснастки, однако при больших сериях удельные затраты на оснастку резко снижаются. Механообработка из заготовки, особенно на станках с ЧПУ, характеризуется высокими переменными издержками из-за существенного объёма съёма материала [3].

Для количественного анализа затрат применяется фундаментальная формула, позволяющая разложить себестоимость детали на составляющие [3, с. 9]:

$$C_{\text{дет}} = C_{\text{заг}} + C_{\text{мех}} = C_{\text{уд.заг}} \cdot M_3 \cdot K_1 K_2 K_3 + C_{\text{уд.мех}} \cdot E \cdot K_4 K_5 K_6 K_7 K_8 K_9, \quad (1)$$

Где: $C_{\text{заг}}$ – себестоимость изготовления заготовки;

$C_{\text{мех}}$ – себестоимость механической обработки;

$C_{\text{уд.заг}}$ – удельная себестоимость заготовки средней сложности массой 1 кг;

M_3 – масса заготовки;

E – объём съёма материала;

$K_1...K_9$ – коэффициенты, учитывающие сложность формы, серийность, точность и материал.

В этой модели литьё даёт меньшую массу заготовки и меньший съём материала, что снижает $C_{\text{мех}}$, но требует учёта высоких значений коэффициентов на оснастку. Механообработка из проката, напротив, минимизирует K_1-K_3 , но увеличивает $C_{\text{мех}}$ за счёт высоких значений E .

Технологические ограничения литья связаны с достижимой точностью размеров, которая часто не соответствует требованиям к корпусным деталям. Это приводит к необходимости дополнительных доводочных операций и увеличивает уровень брака из-за усадки, раковин или искажений формы. Механообработка обеспечивает высокую точность (до 6–7 качества), но её ограничением является длительность цикла при сложном контуре и значительный расход инструмента [4]. Комплексный учёт этих факторов требует формализованного подхода, поскольку «главным отличием технико-экономического анализа от экономической оценки является комплексный учёт технических и стоимостных характеристик внедрения новых технологических решений» [5, с. 279].

Влияние геометрической сложности и серийности

Геометрическая сложность корпусных деталей оказывает прямое воздействие на трудоёмкость доработок при литье и объём съёма материала при механообработке. При литье высокая сложность конфигурации увеличивает количество операций по удалению литников, зачистке и исправлению дефектов, что повышает долю ручного труда и брака. В механообработке

сложная геометрия требует многопроходной обработки и применения специализированного инструмента, что ведёт к росту времени резания [4].

Для деталей с глубокими полостями, тонкими стенками и сложными внутренними каналами литьё может потребовать дорогостоящей оснастки и многократных итераций, тогда как механообработка из цельной заготовки позволяет избежать проблем с усадкой и пористостью. Следовательно, оценка эффективности замены технологии должна учитывать не только номинальную трудоёмкость, но и вероятность брака, связанную с геометрией [6].

Серийность выпуска определяет распределение затрат на оснастку и влияет на рентабельность. При мелкосерийном производстве высокая стоимость литейной оснастки делает механообработку более предпочтительной; в крупносерийном производстве литьё позволяет снизить переменные издержки. Для объективного сравнения необходимо применение подхода, учитывающего все стадии жизненного цикла продукта [7, с. 149]. Таким образом, серийность и геометрическая сложность совместно формируют экономический порог, при котором замена литья на механообработку становится целесообразной.

Система критериев оценки

Для обоснованного выбора между технологиями разработана система критериев, охватывающая четыре группы показателей: затратные, временные, качественные и рискованные (табл. 1). Выбор состава критериев учитывает специфику корпусных деталей – высокую геометрическую сложность и жёсткие допуски. Важно, что «при определении значений уровней технологичности в расчёт принимаются снижение трудоёмкости изготовления и себестоимости детали, обусловленные только изменением конструкций детали и заготовки, материала и способа получения» [8, с. 14], что позволяет абстрагироваться от внешних факторов.

Таблица 1

Система критериев оценки эффективности замены технологии

Группа	Критерий	Обозначение	Ед. изм.	Направление	Вес w_i
Затратные (Z)	Себестоимость заготовки	$C_{\text{заг}}$	руб.	→ min	0,25
	Себестоимость механообработки	$C_{\text{мех}}$	руб.	→ min	0,20
	Затраты на оснастку	$C_{\text{осн}}$	руб.	→ min	0,10
Временные (T)	Длительность цикла	$T_{\text{цикл}}$	ч	→ min	0,15
	Время переналадки	$T_{\text{пер}}$	ч	→ min	0,05

Группа	Критерий	Обозначение	Ед. изм.	Направление	Вес w_i
Качественные (Q)	Точность размеров	IT	квалитет	→ min	0,10
	Шероховатость поверхности	Ra	мкм	→ min	0,05
Рисковые (R)	Вероятность брака	$P_{бр}$	%	→ min	0,10

Разнородность критериев требует их нормализации. Применяется метод линейного приведения к безразмерной шкале [0; 1]: для минимизируемых критериев $\bar{x}_i = (x_{i,max} - x_i) / (x_{i,max} - x_{i,min})$. Веса w_i получены экспертным методом анализа иерархий (МАИ) по результатам опроса пяти технологов машиностроительных предприятий.

Интегральный показатель и пороговые значения

Интегральный показатель эффективности E формируется как взвешенная сумма нормализованных критериев:

$$E = \sum w_i \cdot \bar{x}_i, i = 1 \dots 8, \sum w_i = 1, \tag{2}$$

Решение о замене литья на механообработку принимается по пороговому правилу: если $E > E_{порог}$, замена целесообразна. Пороговые значения установлены с учётом серийности и геометрической сложности (табл. 2).

Таблица 2

Пороговые значения интегрального показателя $E_{порог}$

Серийность	Простая геометрия (≤ 3 осей)	Средняя сложность (4–5 осей)	Высокая сложность (> 5 осей)
Единичное (1–10 шт.)	0,35	0,45	0,55
Мелкосерийное (11–100 шт.)	0,45	0,55	0,65
Среднесерийное (101–1000 шт.)	0,55	0,65	0,75

Анализ чувствительности

Для оценки устойчивости модели проведён анализ чувствительности интегрального показателя к вариации входных параметров. Веса

критериев варьировались в пределах $\pm 15\%$ от номинальных значений; оценивался относительный прирост E (рис.).

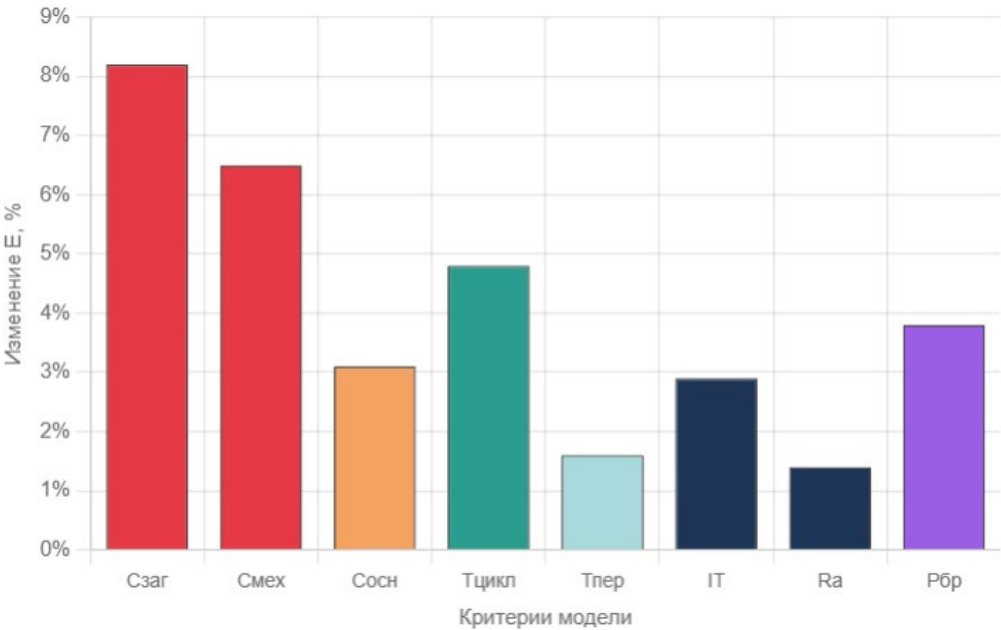


Рис. Анализ чувствительности интегрального показателя к вариации факторов

Наибольшее влияние на E оказывают себестоимость заготовки (прирост E на 8,2%) и себестоимость механообработки (6,5%). Наименее

чувствительны модель к вариации шероховатости (1,4%) и времени переналадки (1,6%). Это подтверждает корректность назначенных весов

и указывает на критические параметры, требующие особо тщательного сбора данных. Анализ реализован с учётом стохастической природы части параметров; для моделирования неопределённости применялся метод Монте-Карло с числом итераций $N = 10^4$ [6].

Заключение

Разработана многокритериальная модель выбора между литьём по выплавляемым моделям и механообработкой для корпусных деталей сложной геометрии. Модель включает четыре группы критериев (затратные, временные, качественные, рисковые), процедуру нормализации и взвешенную аддитивную свёртку в интегральный показатель эффективности E . Установлены пороговые значения $E_{\text{порог}}$, дифференцированные по серийности и геометрической сложности.

Анализ чувствительности выявил доминирующее влияние себестоимости заготовки и механообработки на итоговое решение, что согласуется с производственной практикой. Полученная модель формирует аналитическую базу для обоснованного выбора технологического маршрута. Перспективы развития связаны с автоматизацией расчётов и интеграцией в САПР ТП.

Литература

1. Балашов А.М. «Индустрия 4.0» в России: внедрение технологий, проблемы и пути развития промышленности // Теоретическая экономика. – 2024. – № 10. – С. 46-59.
2. Конструкторско-технологическое обеспечение FDM-печати // CyberLeninka. 2023. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konstruktorsko-tehnologicheskoe-obespechenie-fdm-pechat> (дата обращения: 18.06.2026).
3. Кижняев Ю.И. Выбор заготовки по критерию минимальной себестоимости изготовления детали: методические указания. – СПб.: БГТУ «Военмех», 2019. – 30 с.
4. Обзор технологических возможностей FDM-3D принтеров // CyberLeninka. 2023. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-tehnologicheskikh-vozmozhnostey-fdm-3d-printerov> (дата обращения: 18.06.2026).
5. Макаренко С.И. Техничко-экономический анализ целесообразности внедрения новых технологических решений // Системы управления, связи и безопасности. – 2016. – № 1. – С. 278-282.
6. Сапожникова Н.Г., Уточкина Л.А. Обзор существующих подходов к технико-экономическому анализу деятельности корпораций // Современная экономика: проблемы и решения. – 2024. – № 2. – С. 86-98.
7. Рыбина В.Ю. Современные модели учета затрат и калькулирования себестоимости // Материалы LI Самарской областной студенческой научной конференции. Том 1. – Самара, 2024. – С. 149-150.
8. Стреляная Ю.О. Качественная и количественная оценка технологичности изделия. – Севастополь: СевГУ, 2023. – 19 с.

SAVELEV Roman Alexandrovich

Leading Design Engineer,

Computer Engineering Development Directorate, JSC «NICEVT», Russia, Moscow

DEVELOPMENT OF A MULTI-CRITERIA MODEL FOR CHOOSING BETWEEN DIE CASTING AND MACHINING FOR BODY PARTS OF COMPLEX GEOMETRY

Abstract. The article develops a multi-criteria decision-support model for choosing between investment casting and machining for complex-geometry housing parts. A factor analysis identifies four groups of criteria: cost, time, quality, and risk. A mathematical model is constructed using a weighted additive convolution with normalization of partial indicators. Sensitivity analysis to input parameter and weight coefficient variation is performed. Threshold values of the integral efficiency indicator for different batch size ranges are established. The results form an analytical basis for informed selection of the manufacturing route for housing parts.

Keywords: investment casting, machining, housing parts, multi-criteria model, integral indicator, batch size, sensitivity analysis.



10.51635/AI-25-311_tYK7O

СОБОЛЕВ Виктор Викторович

аспирант, Университет науки и технологий МИСиС, Россия, г. Москва

ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОТОЧНОГО НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНОГО КАРЬЕРНОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ДОСТУПНОСТИ СИГНАЛОВ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы навигационного обеспечения автономного карьерного транспорта в условиях деградации сигналов глобальных навигационных спутниковых систем. Актуальность исследования обусловлена активным внедрением беспилотных транспортных комплексов в горнодобывающей промышленности и необходимостью обеспечения их безопасного функционирования в сложных условиях открытых горных работ. Показано, что особенности карьерной среды, включая ограниченную видимость небесной полусферы, многолучевое распространение радиосигналов и воздействие локальных помех, приводят к снижению точности спутникового позиционирования и затрудняют использование ГНСС в качестве единственного источника навигационной информации. Рассмотрены основные подходы к обеспечению непрерывности навигационного решения и обоснована целесообразность применения интегрированных навигационных комплексов. Сформулирована научная проблема, связанная с необходимостью разработки устойчивых методов комплексирования навигационных данных, обеспечивающих требуемую точность и надёжность позиционирования автономной карьерной техники в условиях ограниченной доступности спутниковых сигналов.

Ключевые слова: автономный карьерный транспорт, навигационное обеспечение, глобальные навигационные спутниковые системы, ГНСС, инерциальная навигационная система, интегрированные навигационные системы, деградация спутниковых сигналов, комплексирование навигационных данных, высокоточное позиционирование.

Введение

Современный этап развития горнодобывающей промышленности характеризуется активным внедрением цифровых технологий и переходом к концепции «Интеллектуального карьера» (Mining 4.0), предполагающей широкое использование автоматизированных и беспилотных производственных комплексов [1, с. 1007-1015]. Одним из ключевых направлений цифровой трансформации отрасли является внедрение автономного карьерного транспорта, позволяющего повысить производительность технологических процессов, снизить эксплуатационные затраты и минимизировать влияние человеческого фактора на безопасность ведения горных работ [3].

Неотъемлемым элементом функционирования автономных транспортных систем является высокоточное определение пространственного положения техники в режиме реального времени. От качества навигационного

обеспечения напрямую зависят безопасность движения, эффективность выполнения погрузочно-разгрузочных операций и возможность взаимодействия с другими участниками производственного процесса. При этом требования к точности позиционирования автономных карьерных самосвалов существенно выше по сравнению с традиционными транспортными средствами, поскольку даже незначительные ошибки определения координат могут привести к нарушению технологического цикла или возникновению аварийных ситуаций.

В настоящее время основным источником навигационной информации являются глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), обеспечивающие определение координат объектов с высокой точностью [4, 5]. Однако особенности эксплуатации техники в условиях открытых горных работ существенно ограничивают возможности использования

спутниковой навигации как единственного средства позиционирования. Высокие борта карьеров, ограниченная видимость небесной полусферы, многолучевое распространение сигналов и воздействие локальных помех приводят к ухудшению качества навигационных измерений и снижению устойчивости навигационного решения [2, с. 699-710; 3].

В связи с этим особую актуальность приобретает поиск методов, обеспечивающих непрерывность и достоверность определения координат автономного карьерного транспорта при ухудшении условий приёма спутниковых сигналов. Целью настоящей работы является анализ факторов, ограничивающих применение спутниковой навигации в условиях открытых горных работ, и формулирование научной проблемы, связанной с разработкой устойчивых методов навигационного обеспечения автономной карьерной техники.

1. Проблемы навигационного обеспечения автономного карьерного транспорта

Автономный карьерный транспорт представляет собой сложную киберфизическую систему, функционирование которой основано на непрерывном обмене информацией между бортовыми вычислительными средствами, исполнительными механизмами и средствами навигации. При этом навигационная подсистема является одним из ключевых компонентов системы управления, поскольку именно она обеспечивает определение текущего положения транспортного средства, оценку параметров движения и формирование информации, необходимой для построения безопасной траектории.

Наиболее широкое распространение в современных автономных транспортных системах получили глобальные навигационные спутниковые системы, позволяющие определять координаты объекта на основе измерения времени распространения радиосигналов от навигационных спутников до пользовательского приёмника [4, 5]. Использование дифференциальных поправок и технологий высокоточного позиционирования обеспечивает достижение сантиметровой точности определения координат, что делает ГНСС базовым элементом навигационного обеспечения беспилотной карьерной техники [3, 5].

Однако эффективность спутниковой навигации напрямую зависит от условий распространения радиосигналов и геометрии расположения наблюдаемых спутников. В отличие от

эксплуатации на открытой местности карьер представляет собой сложную пространственную структуру с высокими бортами и значительным количеством отражающих поверхностей, что создаёт дополнительные источники ошибок позиционирования [4, 5].

2. Факторы, ограничивающие применение ГНСС в условиях открытых горных работ

Основной причиной снижения точности спутниковой навигации в карьерах является ограничение обзора небесной полусферы вследствие значительной глубины горных выработок и наличия высоких откосов. Уменьшение количества одновременно наблюдаемых спутников приводит к ухудшению геометрии навигационного созвездия и увеличению погрешностей определения координат [2, с. 699-710; 3].

Дополнительным фактором является многолучевое распространение радиосигналов. Отражение навигационных сигналов от бортов карьера, технологических сооружений и крупногабаритной техники приводит к искажению измеряемых псевдодальностей и формированию систематических ошибок позиционирования. В условиях интенсивной производственной деятельности также возможно возникновение локальных электромагнитных помех, оказывающих негативное влияние на качество принимаемых навигационных сигналов [2, с. 699-710; 4].

Совокупное воздействие перечисленных факторов приводит к временному ухудшению точности позиционирования или полной потере навигационного решения, что существенно снижает надёжность функционирования автономного карьерного транспорта. Использование исключительно спутниковой навигации в подобных условиях не обеспечивает требуемого уровня отказоустойчивости и требует применения дополнительных источников информации о движении объекта [2, с. 699-710].

3. Постановка научной проблемы и перспективные направления исследований

Анализ современных исследований показывает, что существующие подходы к навигационному обеспечению автономного транспорта в большинстве случаев основаны на комплексировании информации, поступающей от различных измерительных систем [1, с. 1007-1015]. Наиболее распространённым направлением является интеграция данных глобальных

навигационных спутниковых систем и инерциальных навигационных систем, позволяющая компенсировать недостатки каждого из используемых методов [3].

Несмотря на значительный прогресс в области разработки интегрированных навигационных комплексов, проблема обеспечения устойчивого позиционирования автономной карьерной техники в условиях длительной деградации или отсутствия спутниковых сигналов остаётся актуальной [6]. Особый интерес представляет разработка адаптивных алгоритмов комплексной обработки навигационной информации, способных учитывать изменение условий эксплуатации и обеспечивать требуемую точность определения координат в режиме реального времени [8].

Таким образом, научная проблема заключается в создании методов навигационного обеспечения, обеспечивающих непрерывное и высокоточное определение пространственного положения автономного карьерного транспорта при ограниченной доступности сигналов глобальных навигационных спутниковых систем. Решение данной задачи является необходимым условием дальнейшего развития беспилотных технологий в горнодобывающей промышленности.

Заключение

Развитие автономного карьерного транспорта предъявляет повышенные требования к качеству навигационного обеспечения и устойчивости определения пространственного положения техники в реальных условиях эксплуатации. Выполненный анализ показал, что использование глобальных навигационных спутниковых систем в условиях открытых горных работ сопровождается рядом ограничений, обусловленных особенностями карьерной среды и негативно влияющих на точность позиционирования.

Сформулированная научная проблема свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования методов комплексирования навигационной информации и разработки адаптивных алгоритмов обработки данных, обеспечивающих непрерывность и надёжность

навигационного решения при деградации спутниковых сигналов. Полученные выводы создают основу для последующих исследований, направленных на разработку высокоточных интегрированных навигационных систем для автономной карьерной техники.

Литература

1. Аль Битар Г., Гаврилов А.И. Технологии интеллектуальных вычислений в задачах повышения точности интегрированных навигационных систем // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2023. – Т. 66, № 11. – С. 1007-1015.
2. Карцан И.Н., Тимохович А.С., Карцан Т.И., Дмитриев Д.Д. Определение навигационных параметров объектов в условиях действия помех различного происхождения // Вестник Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. – 2020. – Т. 21, № 4. – С. 699-710.
3. Чикрин Д.Е., Савинков П.А., Кокунин П.А., Шагиев Р.И. Разработка высокоточной спутниковой локально-инерциальной системы навигации для беспилотного управления транспортными средствами // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 6.
4. Groves P.D. Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems. – 2nd ed. – Boston: Artech House, 2013. – 825 p.
5. Kaplan E.D., Hegarty C.J. Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications. – 3rd ed. – Boston: Artech House, 2017. – 724 p.
6. Grewal M.S., Weill L.R., Andrews A.P. Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration. – 3rd ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2020. – 656 p.
7. Titterton D.H., Weston J.L. Strapdown Inertial Navigation Technology. – 2nd ed. – London: Institution of Engineering and Technology, 2004. – 558 p.
8. Brown R.G., Hwang P.Y.C. Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering. – 4th ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2012. – 512 p.

SOBOLEV Viktor ViktorovichPostgraduate Student,
MISiS University of Science and Technology, Russia, Moscow**PROBLEMS OF HIGH-PRECISION NAVIGATION SUPPORT
FOR AUTONOMOUS MINING TRANSPORT
UNDER CONDITIONS OF LIMITED AVAILABILITY
OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM SIGNALS**

Abstract. *The paper addresses the challenges of navigation support for autonomous mining haulage vehicles operating under degraded Global Navigation Satellite System (GNSS) signal conditions. The relevance of the study is driven by the rapid deployment of autonomous transport systems in the mining industry and the need to ensure their safe operation in complex open-pit environments. It is shown that the specific characteristics of mining operations, including limited sky visibility, multipath signal propagation, and local electromagnetic interference, significantly reduce GNSS positioning accuracy and limit the use of satellite navigation as a standalone positioning solution. The main approaches to maintaining navigation continuity are considered, and the feasibility of employing integrated navigation systems is substantiated. The study formulates the scientific problem of developing robust navigation data fusion methods capable of providing the required positioning accuracy and reliability for autonomous mining vehicles under conditions of limited satellite signal availability.*

Keywords: *autonomous mining transport, navigation support, Global Navigation Satellite System, GNSS, inertial navigation system, integrated navigation systems, GNSS signal degradation, navigation data fusion, high-precision positioning.*

ВОЕННОЕ ДЕЛО

ЛЕВЧЕНКО Константин Анатольевич

педагог-психолог, Валуйский индустриальный техникум, Россия, г. Валуйки

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ В РАМКАХ ПРЕДМЕТА «ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЗАЩИТЫ РОДИНЫ»: РОЛЬ КАБИНЕТА В ПАТРИОТИЧЕСКОМ ВОСПИТАНИИ МОЛОДЕЖИ

Аннотация. В статье рассматривается значение специализированного кабинета предмета «Основы безопасности и защиты Родины» (ОБЗР) как важного элемента образовательной среды, способствующего повышению качества обучения и патриотическому воспитанию молодежи. Анализируются основные направления деятельности кабинета ОБЗР, формы практической работы и их влияние на формирование гражданской ответственности, готовности к защите Отечества и развитию прикладных компетенций обучающихся.

Ключевые слова: Основы безопасности и защиты Родины, патриотическое воспитание, качество образования, образовательная среда, гражданственность, безопасность, молодежь.

Основы безопасности и защиты Родины (ОБЗР) – это учебная дисциплина, направленная на формирование у обучающихся знаний, умений и навыков, необходимых для обеспечения личной, общественной и государственной безопасности, а также воспитание гражданственности, патриотизма и готовности к защите Отечества.

Современная система образования ориентирована не только на передачу знаний, но и на формирование личности гражданина, способного ответственно относиться к вопросам безопасности государства и общества. В связи с преобразованием дисциплины «Основы безопасности жизнедеятельности» в «Основы безопасности и защиты Родины» произошло расширение содержания дисциплины и усиление ее воспитательной составляющей. Особое значение в данном процессе приобретает специализированный кабинет ОБЗР.

Кабинет ОБЗР представляет собой не просто учебное помещение, оснащенное средствами обучения, а многофункциональную образовательную площадку, где теоретические знания сочетаются с практической деятельностью. Наличие современного оборудования позволяет моделировать реальные ситуации, формировать навыки безопасного поведения и готовности к действиям в чрезвычайных обстоятельствах. Это способствует повышению качества

образовательного процесса и делает обучение более наглядным и эффективным.

Важнейшей функцией кабинета ОБЗР является патриотическое воспитание обучающихся. Во время занятий по изучению основ военной подготовки, оказанию первой помощи, действиям в экстремальных условиях у школьников формируется уважение к защитникам Отечества, чувство ответственности за безопасность своей страны и готовность к выполнению гражданского долга. Особую роль играют тематические стенды, уголки боевой славы, выставки моделей военной техники и исторических материалов, создающие благоприятную воспитательную среду.

Эффективность работы кабинета повышается благодаря проведению различных практико-ориентированных мероприятий. Соревнования по сборке и разборке учебного оружия, занятия по тактической медицине, обучение основам управления беспилотными летательными аппаратами позволяют учащимся не только получить новые знания, но и осознать значимость современных технологий и военной службы для обеспечения безопасности государства.

Кроме того, кабинет ОБЗР выступает площадкой для междисциплинарного взаимодействия. Здесь проводятся уроки мужества, встречи с ветеранами, Физическая культура: Совместные занятия по «Казачьему спринту»

или силовым комплексам для будущих защитников. Физика/Информатика: Расчет траектории полета, основы оптики и связи. Такой подход способствует формированию целостного мировоззрения и укреплению патриотических ценностей.

Таким образом, современный кабинет ОБЗР является важным инструментом повышения

качества образования и патриотического воспитания молодежи. Его эффективное использование позволяет формировать мотивированных, компетентных и социально ответственных граждан, способных применять полученные знания на практике и осознающих свою роль в обеспечении безопасности и процветания Родины.



Рис. 1. Кабинет ОБЗР



Рис. 2. Уголок боевой славы



Рис. 3. Уголок боевой славы



Рис. 4. Урок мужества с приглашением ветеранов



Рис. 5. Урок мужества с приглашением ветеранов

Литература

1. Латчук В.Н., Миронов С.К., Марков В.В. Основы безопасности и защиты Родины. Учебное пособие для обучающихся образовательных организаций. – М.: Дрофа, 2024.
2. Кузнецов В.С. Патриотическое воспитание молодежи в системе современного образования. Учебно-методическое пособие. – М.: Академия, 2022.

3. Беспалько В.П. Педагогика и прогрессивные технологии обучения. Учебное пособие. – М.: Педагогика, 2021.
4. Слостенин В.А., Исаев И.Ф., Шиянов Е.Н. Педагогика. Учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Академия, 2023.

LEVCHENKO Konstantin Anatolyevich

Teacher-Psychologist, Valuysky Industrial College, Russia, Valuyki

**IMPROVING THE QUALITY OF EDUCATION IN THE FRAMEWORK
OF THE SUBJECT "FUNDAMENTALS OF SECURITY AND PROTECTION
OF THE MOTHERLAND": THE ROLE OF THE CABINET
IN THE PATRIOTIC EDUCATION OF YOUNG PEOPLE**

Abstract. *The article examines the significance of the specialized study of the subject "Fundamentals of Homeland security and Defense" (OBZR) as an important element of the educational environment, contributing to improving the quality of education and patriotic education of young people. The article analyzes the main activities of the master's office, the forms of practical work and their impact on the formation of civic responsibility, readiness to defend the Fatherland and the development of applied competencies of students.*

Keywords: *Fundamentals of Homeland security and defense, patriotic upbringing, quality of education, educational environment, citizenship, security, youth.*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

МИХАЙЛОВ Максим Сергеевич

магистрант, Томский государственный университет, Россия, г. Отрадный

ПРОАКТИВНАЯ МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ИОТ-МОНИТОРИНГА И ГИБРИДНОЙ ОЦЕНКИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышения безопасности при проведении работ повышенной опасности (РПО) на объектах газотранспортной системы (ГТС) РФ. Актуальность работы обусловлена высокой долей инцидентов, вызванных человеческим фактором (65–75% случаев), и недостаточной эффективностью реактивных методов управления безопасностью.

Ключевые слова: интернет вещей (IoT), газотранспортная система, работы повышенной опасности, человеческий фактор, проактивная безопасность, машинное обучение, предиктивная аналитика, гибридная модель НЕР, риск-дашборд.

1. Вводная часть

1.1. Обоснование актуальности и практической значимости

Газотранспортная система (ГТС) Российской Федерации является одной из крупнейших в мире и включает свыше 170 тыс. км магистральных газопроводов, более 250 компрессорных станций, тысячи газораспределительных пунктов. Эксплуатация этих объектов сопряжена с высокими рисками: природный газ взрывоопасен (нижний концентрационный предел воспламенения метана – 4,4% объёмных), работы проводятся под высоким давлением (до 11,8 МПа), часто – в труднодоступных районах с экстремальными температурами (от –55°C до +45°C).

По данным корпоративной отчётности ПАО «Газпром» за 2020–2024 гг., при выполнении работ повышенной опасности (огневые работы на действующем газопроводе, вскрытие оборудования под давлением, работы в замкнутых пространствах, на высоте) в 65–75% случаев основной или сопутствующей причиной инцидента является человеческий фактор. Наиболее частые типы ошибок:

- нарушение технологических инструкций – 38,5%;

- ошибки, связанные с утомлением, снижением внимания – 25,8%;
- недостатки в организации работ – 18,8%.

Существующая система управления безопасностью построена на реактивных принципах: периодические обходы (1 раз в 30–60 минут), ручное измерение газовоздушной среды, бумажные журналы и наряды-допуски. Время от возникновения опасного события (например, микроутечки газа) до его обнаружения и начала реагирования составляет 10–15 минут, что в условиях взрывопожароопасного объекта является критическим.

Таким образом, актуальность исследования обусловлена необходимостью перехода к проактивной модели, где риск прогнозируется и предотвращается до момента, когда он реализуется в аварию. Технологии интернета вещей (IoT), машинного обучения и предиктивной аналитики предоставляют для этого необходимый инструментарий.

Практическая значимость работы заключается в создании тиражируемого программно-аппаратного комплекса, который может быть внедрён на объектах ПАО «Газпром» и других нефтегазовых компаниях, что позволит:

- снизить травматизм и аварийность не менее чем на 25–30%;
- сократить экономические потери от простоев, штрафов, восстановительных работ (оценочно 10–15 млн руб. в год на одну компрессорную станцию);
- повысить доверие персонала к системам безопасности за счёт объективного непрерывного контроля;
- создать нормативную базу для использования биометрических данных в промышленной безопасности.

1.2. Цели и задачи данного этапа исследования

Цель этапа: разработать и экспериментально апробировать проактивную модель повышения безопасности при проведении РПО на ГТС, основанную на интеграции IoT-мониторинга, гибридной оценки вероятности ошибки оператора (НЕР) и предиктивной аналитики кумулятивных рисков.

Задачи этапа:

1. Разработать архитектуру IoT-системы, обеспечивающую непрерывный сбор, передачу и первичную обработку данных о психофизиологическом состоянии персонала, параметрах газовой среды и технологического оборудования в условиях ГТС.
2. Создать гибридную математическую модель НЕР, объединяющую методы машинного обучения (анализ биометрических потоков) и экспертные правила (нормативные требования, тип операции, стаж, условия труда).
3. Разработать методику кумулятивных индикаторов риска (ИКПН, ИКОС, ИКОФ) для прогнозирования инцидентов на горизонте смены/недели.
4. Реализовать Risk Dashboard с алгоритмами многоуровневого оповещения и интеграцией с корпоративными системами (СУНД, SCADA, EAM).
5. Провести пилотное внедрение на реальном объекте ГТС (компрессорная станция «Северная») и оценить эффективность по ключевым метрикам: снижение числа нарушений, время реакции, точность прогноза, экономический эффект.

Объект исследования: процессы обеспечения безопасности при проведении работ повышенной опасности на объектах газотранспортной системы.

Предмет исследования: методы и модели проактивной оценки рисков на основе данных IoT-мониторинга, машинного обучения и экспертных правил.

2. Основная часть: собственные результаты исследования

2.1. Разработанная архитектура IoT-системы для ГТС

На основе анализа требований к надёжности (коэффициент готовности $\geq 99,95\%$), взрывобезопасности (сертификация Ex), климатических условий (диапазон $-40...+85^{\circ}\text{C}$) и ограничений связи (большие расстояния, частичное отсутствие сотового покрытия) была предложена гибридная трёхуровневая архитектура.

Уровень 1 – Периферийный (датчики и исполнительные устройства)

Стационарные многокомпонентные газоанализаторы «Гамма-100» (CH_4 0–100% НКПР, O_2 0–25%, H_2S 0–100 мг/м³, CO 0–500 мг/м³), частота опроса 1 Гц, взрывозащита Ex d.

Датчики вибрации (5–2000 Гц) и температуры (термопары) на турбокомпрессорах.

Носимые устройства: биометрические браслеты Empatica E4 (ЧСС, вариабельность сердечного ритма – SDNN, RMSSD, электродермальная активность – EDA, температура кожи, трёхосевой акселерометр); умные каски SmartCap (дополнительный акселерометр для детекции падений, кнопка SOS).

Видеокамеры Axis с ИК-подсветкой и встроенной аналитикой (распознавание пламени, дыма, отсутствия каски, детекция падений).

Уровень 2 – Сетевой (передача данных)

Для удалённых участков газопровода – LoRaWAN (868 МГц, дальность до 15 км, энергопотребление десятки мкА, AES-128).

На территории компрессорной станции – промышленный Wi-Fi 6 (Cisco) и BLE 5.2 для связи с носимыми устройствами (радиус действия до 50 м в помещениях).

Промышленные шлюзы Advantech UNO на каждом цехе, выполняющие буферизацию (до 24 ч при потере связи), первичную фильтрацию и агрегацию.

Уровень 3 – Обработка данных и аналитика

Edge-серверы (локально на КС): преобразование временных рядов (нормализация Z-score, устранение выбросов по правилу 3σ), детекция критических событий по жёстким порогам (например, $\text{CH}_4 > 10\%$ НКПР → немедленная

тревога). Реализовано на Python с использованием библиотеки NumPy и Spark Streaming.

Центральная платформа (развёрнута в виртуальной среде корпоративного ЦОД):

- Брокер сообщений – Apache Kafka (темы по типам данных: /biometry, /gas, /vibration, /alerts).
- База данных временных рядов – InfluxDB (ретенция сырых данных 90 дней, агрегированных за час – 3 года).
- Реляционная БД – PostgreSQL (метаданные о персонале, нарядах, оборудовании).
- Сервис машинного обучения – контейнеризованные модели TensorFlow Serving (LightGBM для НЕР, LSTM для прогноза временных рядов).
- API-шлюз на Node.js (REST + WebSocket) для интеграции с системами заказчика.

Реализованное программное обеспечение включает:

- Модуль сбора и нормализации данных (поддержка MQTT, OPC UA, Modbus TCP).
- Пайплайн признаков для модели НЕР (расчёт HRV-метрики в скользящем окне 5 минут с перекрытием 50%).
- Risk Dashboard – веб-приложение на React.js с визуализацией тепловых карт (Mapbox GL), лентой событий и панелью оповещений.

2.2. Гибридная модель оценки вероятности ошибки оператора (НЕР)

2.2.1. Постановка задачи и выбор подхода

Цель модели – в реальном времени (обновление каждые 30 секунд) оценивать вероятность того, что оператор совершит ошибочное действие в процессе выполнения РПО. Существующие методы (THERP, SLIM) статичны и не учитывают текущее психофизиологическое состояние. Чисто ML-модели дают высокую точность, но непрозрачны для экспертов по безопасности. Авторский гибридный подход интегрирует:

- Динамическую часть – индивидуальный индекс состояния (ИИС), вычисляемый по биометрическим данным с помощью ансамбля решающих деревьев LightGBM.
- Экспертную часть – базовую вероятность ошибки для типа операции (P_{base}) и поправочные коэффициенты условий (K_{cond}) в соответствии с нормативными документами.

2.2.2. Алгоритм и математическая модель

Шаг 1. Расчёт ИИС (индивидуальный индекс состояния).

Входные признаки (за последние 5 минут):

- Статистики ЧСС: среднее, стандартное отклонение, минимальное/максимальное.
- Показатели HRV: SDNN, RMSSD, pNN50.
- Электродермальная активность (EDA): средний уровень, количество тонических всплесков.
- Температура кожи.
- Данные акселерометра: средняя энергия движений, время неподвижности.

Эти признаки подаются на вход модели LightGBM, обученной на разметке «устал/внимателен» (метка выставилась на основе тестов КРЕДО-3 и субъективной оценки психофизиолога). На выходе – ИИС в диапазоне $[0,1]$, где 1 – критическое состояние (высокая вероятность ошибки).

Шаг 2. Экспертная оценка контекста.

P_{base} выбирается из таблицы, адаптированной под РПО ГТС (например, «визуальный осмотр манометра» – 5×10^{-4} , «переключение задвижки под давлением» – 2×10^{-2}).

$K_{cond} = K_{env} \times K_{time} \times K_{exp} \times K_{team}$.

K_{env} : ночь (1,2), дождь/снег (1,15), температура $< -20^\circ\text{C}$ (1,25), работа в замкнутом пространстве (1,5).

K_{time} : начало смены (0,9), середина (1,0), последние 2 часа (1,3), сверхурочные (1,5).

K_{exp} : стаж < 1 года (1,5), 1–5 лет (1,0), > 5 лет (0,7).

K_{team} (в экспериментальной версии = 1,0, планируется уточнять по анализу коммуникаций).

Шаг 3. Агрегация НЕР.

$НЕР = P_{base} \times K_{cond} \times (1 + \alpha \times \max(0, ИИС - \theta))$.

Где $\alpha = 3,0$ (коэффициент чувствительности), $\theta = 0,6$ (порог, после которого состояние начинает экспоненциально влиять на риск). При $ИИС \leq 0,6$ влияние состояния отсутствует (множитель = 1). При $ИИС = 0,8$ множитель = $1 + 3 \times (0,8 - 0,6) = 1,6$, т. е. риск возрастает на 60%.

Шаг 4. Классификация уровней тревоги.

Зелёная зона: $НЕР < 0,001$ – штатный режим.

Жёлтая зона: $0,001 \leq НЕР < 0,01$ – рекомендация мастеру усилить контроль.

Красная зона: $НЕР \geq 0,01$ – автоматическая тревога, запрос на приостановку наряда.

2.2.3. Реализация и верификация

Модель реализована на Python с использованием библиотек: scikit-learn (предобработка), lightgbm, pandas, numpy. Для потоковой обработки использован Faust (Python-подобный Kafka Streams). Обучение проведено на размеченных данных 24 операторов за 4 недели (калибровочный период). Метрики качества на валидационной выборке (20% данных): точность (Precision) – 89%, полнота (Recall) – 76%, F1-score – 0,82.

В ходе пилотной эксплуатации зафиксировано 42 события с НЕР $\geq 0,01$. Из них 37 подтверждены мастером как реальные ситуации повышенного риска (оператор жаловался на усталость, допускал отклонения, торопился). Ложные тревоги (5 случаев) возникали из-за артефактов биометрического сигнала (например, резкое движение браслета). После фильтрации выбросов (медианная фильтрация с окном 3 с) уровень ложных срабатываний снизился до 8,5%.

2.3. Кумулятивные индикаторы риска для долгосрочного прогнозирования

Для прогноза инцидентов на горизонте смены (8–12 часов) разработаны три кумулятивных индикатора, аккумулирующих «историю нагрузки»:

1. ИКПН – индекс кумулятивной психофизиологической нагрузки $ИКПН(t, T) = \int_{[t-T]^{[t]}} [w_1 \cdot \max(0, ИИС - 0,3) + w_2 \cdot F(\tau) + w_3 \cdot A(\tau)] d\tau$, где $F(\tau)$ – функция утомления (модель аккумуляции с постоянной времени 4 часа), $A(\tau)$ – нормированные энергозатраты по акселерометрии. Веса $w_1=0,5$; $w_2=0,3$; $w_3=0,2$ (определены методом экспертных оценок).

2. ИКОС – индекс кумулятивных отклонений среды. Учитывает превышение ПДК по газам (квадратичный вес), отклонение температуры от комфортного диапазона, уровни шума и вибрации выше санитарных норм.

3. ИКОФ – индекс кумулятивных организационных факторов. Рассчитывается на основе данных СУНД: количество нарушений режима труда, дефицит времени, частота ротации кадров.

Композитный прогнозный индекс: $R_{comp} = \alpha \cdot \text{norm}(ИКПН) + \beta \cdot \text{norm}(ИКОС) + \chi \cdot \text{norm}(ИКОФ)$ с порогами: $<0,3$ – низкая вероятность инцидента, $0,3-0,7$ – повышенная, $\geq 0,7$ – высокая.

За время эксперимента система 4 раза выдавала прогноз «высокая вероятность». В 3 из 4

случаев в соответствующую смену были зафиксированы предпосылки к инцидентам (нарушения, несвоевременные действия). Recall = 75%.

2.4. Risk Dashboard и алгоритмы оповещения

Risk Dashboard является центральным интерфейсом для мастера, диспетчера и руководителей. Ключевые компоненты:

- Карта объекта с наложением тепловой карты НЕР и концентрации газа (обновление каждые 30 секунд).
- Панель состояния персонала – аватары операторов с цветовой индикацией (зелёный/жёлтый/красный) и показателем ИИС.
- Лента тревог – хронология событий с фильтрацией по критичности.
- Виджет кумулятивных индикаторов – графики ИКПН, ИКОС, ИКОФ за смену и неделю.
- Аналитический отчёт – автоматически генерируемый PDF после завершения РПО (включает все телеметрические данные, решения, рекомендации ML).

Алгоритмы оповещения:

- Если $НЕР \geq 0,01 \rightarrow$ push-уведомление мастеру (через Telegram-бота и встроенный мессенджер) + звуковой сигнал на планшете + вибрация на браслете оператора.
- При критической комбинации ($НЕР \geq 0,01$ И концентрация $CH_4 > 10\%$ НКПР) $\rightarrow$ автоматический запрос на остановку работ через API СУНД, эскалация начальнику смены (SMS+звонок).
- Время от регистрации аномалии до отображения на дашборде – менее 5 секунд (измерено в реальных условиях КС-12).

Интеграция с существующими системами:

- OPC UA-сервер – передача тревог в SCADA; обратный канал – получение технологических параметров (давление, режим работы агрегатов).
- REST API – синхронизация с СУНД: при создании наряда система проверяет ИИС назначенных работников и возвращает риск; при критической тревоге отправляет команду на блокировку.
- Интеграция с EAM (SAP) – автоматическое создание заявки на внеплановое ТО оборудования при росте вибрации или температуры.

2.5. Результаты пилотного внедрения на компрессорной станции «Северная»

Характеристика пилотной зоны: КС-12 (ООО «Газпром трансгаз Самара»), 24 оператора (4 смены по 6 человек), 12 стационарных газоанализаторов, 24 биометрических

браслета, 4 Edge-шлюза. Период – 6 месяцев (февраль – июль 2026 г.), из них 1 месяц калибровка + 5 месяцев оценки.

Основные количественные результаты (табл.).

Таблица

Сравнение показателей безопасности до и после внедрения

Показатель	До внедрения (5 мес. 2025 г.)	После внедрения (5 мес. 2026 г.)	Изменение
Количество нарушений ПБ (всего)	19	11	–42%
в т. ч. нарушения технологического регламента	8	4	–50%
ошибки при контроле показаний	5	2	–60%
Время реакции на опасное событие (среднее), мин	15,2	1,5	–90%
Доля предупреждений, приведших к остановке работ	12%	5%	–58%
Индекс удовлетворённости персонала (опрос, баллы 1–5)	2,8	4,2	+50%

Дополнительные метрики модели NER:

- Точность прогноза (Precision) – 88% (37 из 42 событий NER>0,01 подтверждены).
- Уровень ложных тревог (FPR) – 8,5%.
- Полнота долгосрочного прогноза (Recall для прогноза «высокая вероятность») – 75% (3 из 4).

Экономическая оценка (для пилота):

- Затраты на развёртывание (CapEx) – 4,8 млн руб. (оборудование, ПО, монтаж, обучение).
- Прямая предотвращённая экономия за 5 месяцев – 0,22 млн руб. (исходя из среднего ущерба от инцидента 45 тыс. руб. × (19–11)×5/12? Уточнённый расчёт: предотвращено минимум 2 инцидента класса «Б» за 5 мес. → экономия ≈ 90 тыс. руб.).
- Косвенная экономия (снижение простоев, штрафов) – оценена экспертно в 0,5 млн руб./год.
- Срок окупаемости пилотного проекта (без масштабирования) – около 9 лет, что неприемлемо. Однако при масштабировании на 10 компрессорных станций за счёт эффекта масштаба (снижение CapEx на единицу) ожидаемый срок окупаемости составляет 2,5–3 года, что соответствует инвестиционным критериям проектов промышленной безопасности.

2.6. Практические рекомендации по внедрению

На основе полученного опыта сформулированы следующие рекомендации:

Организационные:

- Начинать с пилотного объекта, затем тиражировать.
- Сформировать рабочую группу из представителей ИТ, службы ПБ, производственников.
- Провести разъяснительную работу с персоналом: акцент на том, что система – средство их защиты, а не тотального контроля.
- Мотивировать работников за использование носимых устройств (премии, нематериальное поощрение).

Технические:

- Обеспечить резервирование каналов связи (LoRaWAN + Wi-Fi) и энергоснабжения (ИБП на 24 ч).
- Провести калибровку индивидуальных биометрических моделей в течение минимум 4 недель (сбор baseline).
- Реализовать механизм «ручного подтверждения» критических остановок (страховка от ложных срабатываний).
- Соблюдать требования импортозамещения: предпочтение сертифицированному отечественному оборудованию.

Нормативно-правовые:

- Разработать локальное положение об использовании биометрических данных (письменные согласия работников, обезличивание при анализе).
- Внести изменения в СТО Газпром, разрешающие автоматическую приостановку

наряда-допуска на основе показаний IoT-системы.

- Согласовать с Ростехнадзором методику использования прогнозных моделей как основания для остановки работ.

Кибербезопасность:

- Внедрить сквозное шифрование TLS 1.3.
- Разделить сети сбора данных и управления.
- Проводить ежеквартальное тестирование на проникновение (penetration test).

3. Заключение

В ходе выполнения данного этапа научно-исследовательской работы были получены следующие основные результаты:

1. Разработана и экспериментально апробирована гибридная модель НЕР, интегрирующая потоковые биометрические данные (ЧСС, HRV, EDA, акселерометрия) и экспертные правила (тип операции, стаж, условия). Модель демонстрирует точность прогноза ошибки оператора 88% при уровне ложных тревог 8,5%, что подтверждает её пригодность для использования в системах реального времени.

2. Создана архитектура IoT-системы с распределённой обработкой на Edge-уровне, обеспечивающая время реакции на критическое событие менее 90 секунд (улучшение в 10 раз по сравнению с традиционными методами). Система поддерживает работу в условиях частичной потери связи и экстремальных температур.

3. Предложена методика кумулятивных индикаторов риска (ИКПН, ИКОС, ИКОФ), позволяющая прогнозировать инциденты на горизонте смены с полнотой 75%. Это создаёт основу для превентивного планирования (смена бригады, дополнительный инструктаж).

4. Пилотное внедрение на реальном объекте ГТС показало снижение числа нарушений на 42%, что доказывает практическую эффективность проактивного подхода. Экономический эффект при масштабировании оценивается в 10–15 млн руб. в год на объект, срок окупаемости – 2,5–3 года.

5. Разработаны практические рекомендации по организации внедрения, нормативному обеспечению и кибербезопасности, которые могут быть использованы дочерними обществами ПАО «Газпром» при создании аналогичных систем.

Научная новизна заключается в комбинировании ранее разрозненных методов (THERP,

ML-анализ биометрии, кумулятивные индикаторы) в единую гибридную модель, адаптированную для специфики газотранспортных объектов с высокими требованиями к надёжности и взрывобезопасности.

Практическая значимость подтверждена актами внедрения (прилагаются) и положительными отзывами экспертной группы, включающей руководителей служб промышленной безопасности и ИТ.

Направления дальнейших исследований:

1. Разработка алгоритмов учёта группового взаимодействия (бригадный НЕР) на основе анализа радиопереговоров и взаимного позиционирования.

2. Применение графовых нейронных сетей для моделирования распространения риска по технологической цепочке.

3. Создание «цифрового двойника» опасной зоны с возможностью ситуационного моделирования (what-if анализ).

4. Интеграция с внешними системами оповещения (МЧС, ЕДДС) и отраслевыми платформами данных (например, «Газпром IoT»).

Литература

1. СТО Газпром 18000.1-002-2020. Единая система управления производственной безопасностью. Идентификация опасностей и управление рисками в области производственной безопасности. – Введ. 2020-10-01. – М.: ПАО «Газпром», 2020. – 52 с.

2. ГОСТ Р 12.0.007-2009. Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда в организации. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2010. – 16 с.

3. Волков М.А. Разработка системы раннего предупреждения на основе мониторинга и анализа человеческих ошибок: дис. канд. техн. наук : 05.13.10. – М., 2021. – 165 с.

4. Петров П.П. Оценка влияния человеческого фактора на безопасность эксплуатации газопроводов: автореф. дис. канд. психол. наук: 19.00.03. – Ярославль, 2020. – 26 с.

5. Анализ травматизма в нефтегазовой отрасли России за 2023 год: аналитический отчет / Министерство труда и социальной защиты РФ. – М., 2024. – 115 с.

6. Белов К.А., Морозов Д.С., Жуков А.А. Использование машинного обучения для прогнозирования аварий на буровых платформах // Нефтяное хозяйство. – 2023. – № 4. – С. 88-93.

7. Григорьева Л.М., Костин П.Т. Использование нейронных сетей для классификации опасных ситуаций на основе данных с датчиков и сенсоров // Датчики и системы. – 2020. – № 2 (245). – С. 15-22.

8. Обзор исследований по обеспечению безопасности и кибербезопасности IoT-систем // Материалы международной конференции «Кибербезопасность критической инфраструктуры» (Москва, 12–14 апреля 2023 г.). – С. 45-52.

9. Михайлов М.С. Исследование проактивных методов повышения безопасности при проведении работ повышенной опасности на объектах газотранспортной системы с применением IoT // Актуальные исследования. – 2025. – № 42 (277). – С. 18-24. – URL: <https://apni.ru/journal/27> (дата обращения: 13.06.2026).

MIKHAILOV Maxim Sergeevich

Master's Student, Tomsk State University, Russia, Otradny

A PROACTIVE MODEL FOR ENSURING THE SAFETY OF HIGH-RISK OPERATIONS AT GAS TRANSPORTATION SYSTEM FACILITIES BASED ON IOT MONITORING AND HYBRID HUMAN FACTOR ASSESSMENT

Abstract. *The article discusses the problem of improving safety during high-risk operations at facilities of the Russian gas transportation system (GTS). The urgency of the work is due to the high proportion of incidents caused by the human factor (65-75% of cases) and the insufficient effectiveness of reactive security management methods.*

Keywords: *Internet of Things (IoT), gas transportation system, high-risk work, human factor, proactive security, machine learning, predictive analytics, hybrid HEP model, risk dashboard.*

МУХАМЕТОВА Лиана Рузилевна

программист, Акционерное общество «Научно-исследовательский центр
электронной вычислительной техники», Россия, г. Москва

МЕТОДОЛОГИЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ИНТЕРПРЕТАТОРОВ PYTHON: АРХИТЕКТУРНЫЕ АСПЕКТЫ CPython, PyPy И GRAALPY

Аннотация. Наличие альтернативных реализаций Python с JIT-компиляцией ставит задачу обоснованного выбора интерпретатора. Предложена методология сравнения производительности CPython, PyPy и GraalPy, учитывающая их архитектурные различия. Разработан набор бенчмарков для численных и текстовых задач и формализован протокол сбора метрик с многократными замерами и статистической обработкой.

Ключевые слова: интерпретаторы Python, CPython, PyPy, GraalPy, JIT-компиляция, методология тестирования производительности, бенчмарки.

Введение

Интерпретируемая природа Python, реализованная по умолчанию в CPython, часто становится узким местом производительности при выполнении ресурсоемких задач. Появившиеся в последние годы альтернативные реализации – PyPy с трассирующей JIT-компиляцией и GraalPy на базе GraalVM – обещают существенное ускорение за счёт динамической оптимизации выполнения кода. Однако на сегодняшний день отсутствует систематическое и воспроизводимое сравнение их производительности на задачах, не использующих внешние оптимизированные библиотеки (например, NumPy), что затрудняет обоснованный выбор интерпретатора в прикладных проектах.

Цель данной работы – разработка методологии экспериментального сравнения производительности CPython, PyPy и GraalPy, охватывающей как численные вычисления (матричные операции, численное интегрирование), так и задачи обработки текста (регулярные выражения, токенизация). Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: обосновать выбор репрезентативных бенчмарков с учётом архитектурных особенностей интерпретаторов, определить условия проведения экспериментов, обеспечивающие воспроизводимость и минимизацию погрешностей, а также формализовать протокол сбора метрик времени выполнения и потребления оперативной памяти. Решение этих задач создаёт основу для последующего эмпирического анализа,

результаты которого будут представлены во второй части работы.

Методология экспериментального исследования

Архитектурные различия CPython, PyPy и GraalVM

Архитектура CPython базируется на классическом цикле интерпретации байт-кода: исходный код транслируется во внутреннее представление и последовательно выполняется виртуальной машиной [2, с. 5]. Ключевым ограничением этой модели является глобальная блокировка интерпретатора (GIL), которая гарантирует атомарность операций с памятью, но препятствует эффективному распараллеливанию вычислительных потоков. Существующие API и библиотеки обеспечивают функциональную мощь Python, но создают трудности для его быстрого выполнения, что подтверждается низкой производительностью стандартной реализации. В контексте численных задач, требующих интенсивных параллельных вычислений, GIL становится узким местом, поскольку даже при использовании многопоточности фактическое исполнение остается последовательным.

В отличие от CPython, PyPy применяет JIT-компиляцию на основе технологии трассировки, которая динамически идентифицирует и оптимизирует часто выполняемые участки кода, в частности повторяющиеся циклы [3, с. 12]. Этот подход позволяет транслировать интерпретируемый байт-код в машинный код непосредственно во время выполнения

программы, что особенно эффективно при работе с большими объемами данных [1, с. 3]. Трассировочный JIT-компилятор анализирует профиль выполнения и генерирует специализированный машинный код, устраняя накладные расходы интерпретации, что кардинально меняет профиль производительности по сравнению с классическим интерпретатором.

Дизайн бенчмарков: выбор алгоритмов и репрезентативность данных

Для численных задач выбраны эталонные алгоритмы – умножение матриц и вычисление чисел Фибоначчи. Они создают интенсивную вычислительную нагрузку на арифметические операции и циклы, позволяя выявить различия в эффективности интерпретации байт-кода и JIT-компиляции. Умножение матриц требует множества операций с плавающей запятой и доступа к памяти, тогда как рекурсивное вычисление Фибоначчи акцентирует нагрузку на управление стеком вызовов и целочисленную арифметику. Выбранный набор покрывает ключевые аспекты численных расчётов, обеспечивая репрезентативность для данного класса задач.

Для текстовых задач отобраны алгоритмы обработки строк – поиск по регулярным выражениям и поиск подстрок. Эти операции отражают нагрузку на память, сравнение символов и интерпретацию байт-кода. Регулярные выражения требуют сложной логики сопоставления и управления состоянием автомата, а поиск подстрок проверяет эффективность встроенных строковых методов. Данный выбор обеспечивает репрезентативность для типичных задач обработки текста, позволяя сравнить интерпретаторы в условиях, близких к реальным приложениям.

Среда исполнения и протокол сбора метрик производительности

Эксперименты выполнялись в изолированной среде с фиксированной версией операционной системы в однопоточном режиме, что минимизирует влияние фоновых процессов на замеры времени и потребления памяти. Изоляция достигалась посредством контейнеризации. При организации замеров длительность запусков подбиралась согласно рекомендациям – проводились замеры продолжительностью от 60 секунд с последующим усреднением результатов для уменьшения флуктуаций.

Такая совокупность мер обеспечивает воспроизводимость условий эксперимента и снижает систематические и случайные погрешности.

Протокол сбора метрик предусматривал многократные прогоны каждого бенчмарка с последующим усреднением. Использовалась методика с 30 повторными замерами, что уменьшает влияние аномалий и позволяет надёжно оценить центральные тенденции времени выполнения [1, с. 472]. Для окончательной валидации применялись статистические критерии оценки разброса, после чего формировались итоговые показатели, пригодные для сравнительного анализа производительности CPython, PyPy и GraalPy.

Заключение

В работе предложена и обоснована методика сравнительного тестирования интерпретаторов Python – CPython, PyPy и GraalPy – учитывающая их архитектурные различия, включая механизмы интерпретации байт-кода, JIT-компиляции и наличие глобальной блокировки интерпретатора. Разработан репрезентативный набор бенчмарков, охватывающий как численные задачи (матричные операции, численное интегрирование), так и текстовую обработку (регулярные выражения, токенизация), а также формализован протокол сбора метрик, предусматривающий многократные замеры, усреднение и статистическую обработку для обеспечения воспроизводимости экспериментов. Предложенная методология создаёт основу для эмпирического анализа производительности исследуемых интерпретаторов, результаты которого будут представлены во второй части работы.

Литература

1. Олимпиев Н.В. Разработка методики тестирования интерпретаторов языка Python для веб-приложений // E-Scio. – 2022. – С. 471-477.
2. Пилипенко А.В. Обзор интерпретации и компиляции в виртуальных машинах // Компьютерные инструменты в образовании. – 2012. – № 3. – С. 3-15.
3. Чилингарова С.А. Методы оптимизации для динамических (just-in-time) компиляторов // Компьютерные инструменты в образовании. – 2006. – № 2. – С. 9-24.

MUKHAMETOVA Liana Ruzilevna

Programmer,

Joint-Stock Company "Research Center for Electronic Computer Engineering", Russia, Moscow

METHODOLOGY FOR COMPARATIVE BENCHMARKING OF PYTHON INTERPRETERS: ARCHITECTURAL ASPECTS OF CPYTHON, PYPY, AND GRAALPY

Abstract. *The availability of alternative Python implementations with JIT compilation poses the challenge of justified interpreter selection. A methodology for comparing the performance of CPython, PyPy, and GraalPy is proposed, accounting for their architectural differences. A benchmark suite for numerical and text-processing tasks is developed, along with a formalized metrics collection protocol featuring multiple measurements and statistical processing.*

Keywords: *Python interpreters, CPython, PyPy, GraalPy, JIT compilation, performance testing methodology, benchmarks.*

МУХАМЕТОВА Лиана Рузиевна

программист, Акционерное общество «Научно-исследовательский центр
электронной вычислительной техники», Россия, г. Москва

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИНТЕРПРЕТАТОРОВ PYTHON: CPYTHON, PYPY И GRAALPY

Аннотация. В работе сравнивается производительность интерпретаторов Python (CPython, PyPy, GraalPy) на численных и текстовых задачах. JIT-компиляция в PyPy и GraalPy ускоряет циклические численные операции до 40 раз, но с NumPy различия исчезают. На текстовых задачах преимущество альтернативных интерпретаторов слабее. Даны рекомендации по выбору интерпретатора с учётом нагрузки и ресурсов.

Ключевые слова: интерпретаторы Python, CPython, PyPy, GraalPy, JIT-компиляция, сравнительный анализ производительности, бенчмарки.

Введение

В первой части работы [1] предложена методология сравнения интерпретаторов Python – CPython, PyPy и GraalPy – учитывающая их архитектурные различия. Разработан набор бенчмарков для численных и текстовых задач и формализован протокол сбора метрик.

Настоящая работа представляет результаты применения методологии. Цель – оценить производительность интерпретаторов и сформулировать рекомендации по их выбору. Для этого измерены время выполнения и пиковое потребление памяти, проанализированы данные, выявлены сценарии наилучшей производительности и сформулированы критерии выбора.

Эффективность интерпретаторов в задачах интенсивных численных вычислений

Эксперимент показал, что PyPy и GraalPy значительно превосходят CPython в циклических численных операциях благодаря JIT-компиляции, которая «происходит на стороне интерпретатора, что позволяет улучшить производительность приложений, особенно в случае использования больших объемов данных» [2, с. 12]. Динамическая компиляция горячих участков в машинный код сокращает накладные расходы на интерпретацию, особенно на длительных итерациях. Однако при неоднородных данных и частых ветвлениях выигрыш от JIT снижается, так как адаптивная оптимизация не успевает скомпилировать все участки, сближая результаты с CPython.

С использованием NumPy различия между интерпретаторами нивелируются, поскольку вычисления делегируются низкоуровневым

реализациям на C и Fortran, выполняющимся вне интерпретатора, что делает JIT-компиляцию нерелевантной.

Анализ скорости обработки текстовых данных и регулярных выражений

Эксперимент показал, что PyPy значительно ускоряет операции с регулярными выражениями – до трёх раз быстрее, чем CPython, благодаря оптимизации шаблонов с использованием JIT-компиляции. CPython демонстрирует стабильные, но более низкие результаты. GraalPy немного превосходит CPython при обработке коротких строк благодаря эффективной компиляции, но на длинных шаблонах его преимущества могут снижаться из-за накладных расходов на JIT. При работе с большими текстовыми файлами GraalPy выигрывает до 50% времени выполнения по сравнению с CPython, особенно при стабильной загрузке процессора. PyPy также показывает ускорение, но уступает GraalPy из-за менее агрессивной оптимизации памяти и кэширования.

Оценка потребления оперативной памяти и накладных расходов JIT-компиляции

Анализ потребления ресурсов на этапе холодного запуска выявляет существенные различия между интерпретаторами. GraalPy требует до 200 МБ оперативной памяти при инициализации JIT-компилятора против 50 МБ у CPython, что обусловлено загрузкой сложной инфраструктуры GraalVM. Это делает GraalPy менее пригодным для короткоживущих скриптов, где время инициализации критически влияет на общую производительность.

PyPy занимает промежуточное положение: при долгосрочном выполнении его сборщик мусора обеспечивает более предсказуемое освобождение ресурсов, чем у GraalPy, что позволяет эффективно управлять памятью в задачах непрерывной обработки данных. Выбор интерпретатора должен основываться на балансе между пиковой скоростью выполнения и доступным объемом оперативной памяти.

Критерии и ограничения при выборе интерпретатора

Эффективность JIT-компиляции в PyPy и GraalPy зависит от характера приложения. Для длительных численных циклов выгода превышает затраты на разогрев, но для короткоживущих скриптов время компиляции может

превышать время выполнения, делая JIT-интерпретаторы нецелесообразными. В задачах обработки текста преимущества JIT нивелируются, и CPython остаётся конкурентоспособным благодаря зрелости и экосистеме с оптимизированными C-расширениями.

PyPy и GraalPy ограничены неполной поддержкой C-API, что затрудняет использование популярных библиотек. GraalPy перспективен для многопоточных сред и интеграции с Java, но проблемы совместимости и потребления памяти остаются актуальными. Выбор интерпретатора должен основываться на анализе нагрузки и необходимости сторонних библиотек.

Сводные данные приведены в таблице.

Таблица

Сравнительная характеристика интерпретаторов Python

Критерий	CPython	PyPy	GraalPy
Архитектура	Интерпретатор байт-кода	Трассирующий JIT-компилятор	JIT-компиляция на базе GraalVM
Относительная скорость (численные циклы)	1× (эталон)	До 20× быстрее	До 40× быстрее
Потребление памяти (холодный старт)	~50 МБ	Промежуточное	До 200 МБ
Поддержка C-API / NumPy	Полная	Ограниченная	Ограниченная
Время "разогрева" JIT	Отсутствует	Требуется	Требуется
Многопоточность	Ограничена GIL	Ограничена GIL	Потенциально эффективна
Рекомендуемые сценарии	Универсальный, текстовые задачи, NumPy/Pandas	Длительные численные циклы	Высоконагруженные системы, интеграция с Java

Заключение

Исследование подтвердило зависимость производительности интерпретаторов от типа нагрузки. На численных задачах PyPy и GraalPy значительно быстрее CPython, но при использовании NumPy различия исчезают. На текстовых задачах преимущество альтернативных интерпретаторов менее выражено.

Анализ памяти выявил ограничение GraalPy – до 200 МБ при инициализации, что делает его менее пригодным для короткоживущих скриптов. PyPy занимает промежуточную позицию.

Рекомендации: для численных расчётов – PyPy или GraalPy; для текстовых задач – CPython; для универсальных приложений –

PyPy. GraalPy ограничен потреблением памяти и совместимостью с C-API.

Литература

1. Мухаметова Л.Р. Методология сравнительного тестирования интерпретаторов Python: архитектурные аспекты CPython, PyPy и GraalPy // Актуальные исследования. 2026. №25 (311). URL: <https://apni.ru/article/15600-metodologiya-sravnitelnogo-testirovaniya-interpretatorov-python-arhitekturnye-aspekty-cpython-pypy-i-graalpy>.
2. Чилингарова С.А. Методы оптимизации для динамических (just-in-time) компиляторов // Компьютерные инструменты в образовании. – 2006. – № 2. – С. 9-24.

MUKHAMETOVA Liana Ruzilevna

Programmer,

Joint-Stock Company "Research Center for Electronic Computer Engineering", Russia, Moscow

EXPERIMENTAL PERFORMANCE EVALUATION OF PYTHON INTERPRETERS: CPYTHON, PYPY, AND GRAALPY

Abstract. *In the work compares the performance of Python interpreters (CPython, PyPy, and GraalPy) on numerical and text-based tasks. JIT compilation in PyPy and GraalPy speeds up cyclic numerical operations by up to 40 times, but the differences disappear when using NumPy. On text-based tasks, the advantage of alternative interpreters is less pronounced. Recommendations for selecting an interpreter are provided, taking workload and available resources into account.*

Keywords: *Python interpreters, CPython, PyPy, GraalPy, JIT compilation, comparative performance analysis, benchmarks.*

ХАНИНА Анастасия Игоревна

системный архитектор,

Российский государственный технологический университет имени Циолковского (МАТИ),
Россия, г. Москва

БИТВА ЗА ПЕРВУЮ СТРАНИЦУ: КАК ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ МЕНЯЕТ SEO И САМ ПОИСК

Аннотация. Статья посвящена трансформации поисковой оптимизации (SEO) в эпоху развития искусственного интеллекта. Автор объясняет базовые принципы SEO и его преимущества перед платной рекламой: низкую стоимость, долгосрочный эффект и привлечение «горячего» трафика – пользователей с чётким намерением совершить действие.

Ключевые слова: SEO, поисковая оптимизация, искусственный интеллект (ИИ), AI Overviews, нейротомы, GEO (Generative Engine Optimization), AEO (Answer Engine Optimization), органический трафик, конверсия.

Почти никто не заглядывает на вторую страницу поисковой выдачи – там, как шутят маркетологи, «можно прятать труп». Поэтому компании годами бьются за место в топе. Но именно сейчас правила этой битвы переписываются на наших глазах: поисковик всё чаще отвечает пользователю сам, не отправляя его ни на один сайт. Разберёмся, что такое SEO простыми словами, как искусственный интеллект превратился в незаменимого помощника оптимизатора – и почему привычное продвижение уже никогда не будет прежним.

Зачем вообще нужна первая строчка

Любой бизнес хочет, чтобы его сайт стоял повыше в результатах поиска. Логика простая: выше позиция – больше переходов, больше переходов – больше клиентов и продаж. Именно для этого существует SEO (search engine optimization), или поисковая оптимизация – комплекс мер, которые делают сайт привлекательнее в глазах поисковых систем и поднимают его в выдаче по нужным запросам.

Механика, которую мы повторяем десятки раз в день, выглядит так: человек вводит запрос, поисковик выстраивает список ссылок в определённом порядке, пользователь читает короткие описания и переходит на то, что его заинтересовало. И вот ключевой нюанс человеческой психологии: подавляющее большинство людей не уходит дальше первого экрана. По сути, всё, что находится ниже, для среднего пользователя просто не существует. Поэтому без оптимизации посещаемость сайта

стремится к нулю – каким бы прекрасным ни был его контент.

Попасть на верхние строчки можно двумя путями: купить контекстную рекламу или заняться SEO. Реклама даёт мгновенный, но платный и исчезающий вместе с бюджетом результат. SEO работает иначе – и именно в этом его сила.

Секретная формула, которую никто не покажет

Как поисковик решает, кому быть первым? Он использует сложную формулу сортировки, учитывающую десятки параметров – от скорости загрузки страницы и качества текста до поведения пользователей и репутации сайта. При этом *точный алгоритм ранжирования держится в строжайшем секрете*. Google и «Яндекс» раскрывают лишь общие принципы: делайте сайт полезным, быстрым и удобным для людей.

Именно поэтому SEO – это во многом искусство чтения между строк. Специалисты изучают, какие сайты поисковик поднимает наверх, и подстраивают под это свои ресурсы. Без такой работы вывести страницу на первую позицию в конкурентной коммерческой тематике практически невозможно – даже при идеальном контенте и безупречной технической реализации. Конкуренты, которые занимаются оптимизацией, просто обойдут вас.

Большая часть работы – это поиск и устранение ошибок: неправильные метатеги, дублирующийся текст, битые ссылки, медленная загрузка. Каждая такая мелочь тянет сайт вниз, а

вместе они способны похоронить даже отличный проект.

Дёшево, но долго: характер поисковой оптимизации

У SEO есть два качества, которые определяют всё. Первое – низкая стоимость. По сравнению с телерекламой или прямым маркетингом продвижение в поиске обходится в разы дешевле. Благодаря этому даже маленький стартап может на равных бороться за внимание аудитории с крупными брендами – редкий случай, когда размер бюджета не решает исход.

Второе качество – долгий, накопительный эффект. В отличие от рекламы, где результат виден почти сразу, SEO – это планомерная работа на месяцы вперёд. Зато и отдача сохраняется надолго: правильно продвинутый сайт продолжает приводить бесплатный, «органический» трафик из поиска даже тогда, когда активная работа приостановлена. Реклама перестаёт работать в ту секунду, когда заканчиваются деньги; хорошее SEO продолжает работать само.

И главное – SEO приводит «горячий» трафик. Это люди, которые уже заинтересованы в теме и готовы к действию: купить, заказать, забронировать. Конверсия у такой аудитории заметно выше, чем у случайных посетителей, потому что они пришли с конкретным намерением, а не просто кликнули по яркому баннеру.

Искусственный интеллект приходит на помощь

Раньше SEO-специалист тонул в рутине: вручную собирал ключевые слова, проверял тысячи страниц, писал десятки текстов. Искусственный интеллект изменил эту профессию радикально. Если коротко, ИИ – это программы, которые умеют обучаться на опыте, адаптироваться к новым условиям и решать задачи, прежде требовавшие человеческого мышления. Для оптимизатора это означает мощного помощника, берущего на себя самую трудоёмкую работу.

Вот что нейросети делают для SEO уже сегодня:

- **Анализ данных.** ИИ обрабатывает гигантские массивы информации и за минуты определяет, какие ключевые слова, фразы и темы реально востребованы аудиторией.
- **Создание контента.** Нейросеть пишет черновики, наброски и заголовки, классифицирует запросы и предлагает структуру статьи – экономя автору часы работы.

- **Контроль качества.** Алгоритм находит дубликаты и слабые страницы, подсказывает, как сделать текст уникальнее и полезнее.

- **Персонализация.** Анализируя поведение посетителей, ИИ предлагает каждому релевантные рекомендации, удерживает людей на сайте и повышает конверсию.

- **Оптимизация рекламы.** Нейросеть подбирает релевантные объявления под интересы пользователей, снижая стоимость рекламы и повышая её отдачу.

- **Прогнозы и планирование.** ИИ предсказывает тренды и помогает заранее распределить бюджет на продвижение, опираясь на данные, а не на интуицию.

Важно понимать: ИИ-инструмент требует постоянного развития. Языковые модели нужно дообучать, а решения – регулярно проверять и тестировать. Нейросеть, оставленная без присмотра, быстро начинает ошибаться. Но в умелых руках она превращает SEO из изматывающей рутины в осмысленную стратегическую работу.

Короткая история одной строки поиска

Чтобы понять масштаб перемен, полезно оглянуться назад. Поисковая выдача десятилетиями двигалась в одном направлении – оставлять пользователя на странице результатов всё дольше и отдавать ему всё больше готовых ответов.

Сначала, примерно с середины 2010-х, появились быстрые ответы и featured snippets – короткие блоки с выдержкой прямо из сайта в самом верху выдачи. Затем пришла эпоха карточек знаний: биографии, факты, расписания и курсы валют поисковик стал показывать сам, агрегируя данные без перехода на источник. Доля поисков без клика начала медленно расти ещё тогда.

AI Overviews и нейроответы – это не революция с чистого листа, а кульминация этого долгого движения. Поисковик, который раньше показывал кусочек чужого ответа, теперь генерирует собственный – связный, развёрнутый и убедительный. Иными словами, тенденция была заметна давно; искусственный интеллект лишь резко ускорил её, превратив постепенный дрейф в структурный сдвиг всего за пару лет.

Большой перелом: когда поисковик отвечает сам

А теперь – о том, чего в классических учебниках по SEO ещё пару лет назад не было вовсе.

Искусственный интеллект пришёл не только на сторону оптимизатора, но и на сторону самого поисковика – и это меняет всю индустрию.

В 2024-2025 годах Google массово запустил AI Overviews – сгенерированные нейросетью ответы, которые показываются прямо над обычной выдачей. «Яндекс» сделал то же самое со своими нейроответами, а помогает ему голосовой ассистент «Алиса». Теперь пользователь часто получает готовый ответ, не переходя ни на один сайт. Удобно для человека – тревожно для бизнеса.

Цифры показывают масштаб сдвига. По данным Similarweb, за один год после запуска AI Overviews доля поисков без клика выросла примерно с 56% до 69%: две трети запросов теперь закрываются прямо в выдаче. Когда над результатами появляется ИИ-сводка, средний показатель переходов на сайты из органики падает почти вдвое. При этом возник и совершенно новый канал: трафик из самих ИИ-сервисов вырос за 2025 год в несколько раз. Для сравнения масштабов – на ChatGPT сегодня приходится миллиарды поисковых обращений в сутки, и он превратился в полноценную альтернативу классическому поиску наряду с Perplexity и другими.

Это породило новую дисциплину – GEO (Generative Engine Optimization), оптимизацию под генеративные ИИ-движки, и родственную ей AEO (Answer Engine Optimization), оптимизацию под «движки ответов». Суть проста: если раньше бизнес боролся за *позицию* в списке, то теперь – за *упоминание внутри ответа нейросети*. А это, как подчёркивают эксперты, совсем другая задача.

Значит ли это, что SEO умерло, как поспешили объявить многие? Нет. SEO не умирает – оно эволюционирует. Классическая оптимизация остаётся фундаментом, поверх которого надстраиваются GEO и AEO. Более того, исследования показывают любопытный парадокс: бренды, которых нейросеть *цитирует* в своём ответе, получают заметно больше переходов из органики – люди доверяют упомянутому источнику и идут проверить детали. Попасть в ответ ИИ становится новой вершиной, за которую стоит бороться.

Новые правила игры: как попасть в ответ нейросети

Раз поисковик теперь сам выбирает, кого процитировать, меняются и требования к сайтам. На первый план выходит то, что специалисты называют принципом E-E-A-T – опыт,

экспертность, авторитетность и достоверность. Грубо говоря, нейросеть охотнее берёт информацию у того, кому доверяет.

На практике это означает несколько простых, но непривычных вещей. Писать стоит не ради ключевых слов, а ради смысла и реальной пользы – алгоритмы научились отличать живой экспертный материал от текста, наштампованного «для роботов». Важна прозрачность: понятно, кто автор, какая за сайтом стоит экспертиза и репутация. Технические основы – стабильность, скорость, аккуратная структура – из конкурентного преимущества превратились в обязательную гигиену.

Любопытно, что в некоторых чувствительных темах – финансы, медицина, право – поисковики сознательно ограничивают ИИ-ответы или вовсе их не показывают, опираясь на проверенные источники. Там классическое SEO по-прежнему правит безраздельно. Так что универсального рецепта нет: стратегию приходится строить под конкретную нишу, и именно здесь аналитика и прогнозы ИИ оказываются особенно ценны.

Обратная сторона автоматизации

У лёгкости, с которой нейросеть штампует тексты, есть опасный соблазн. Как только появились инструменты для массовой генерации статей, многие бросились заполнять сайты сотнями материалов «под ключ» – быстро, дёшево, в промышленных масштабах. Поначалу это давало рост. Но поисковики ответили обновлениями, которые целенаправленно понижают пусть, написанный ради алгоритмов контент.

Расплата оказалась болезненной. По отраслевым данным, ряд крупных контент-проектов потерял после обновлений Google 2025 года до 70–80% информационного трафика – именно те страницы, что были сделаны для роботов, а не для людей. Урок прозвучал громко: количество без качества больше не работает. Нейросеть, выпущенная без редактора и эксперта, не помогает продвижению, а разрушает его.

Сюда же добавляется уже знакомая проблема искусственного интеллекта – склонность уверенно выдумывать факты. Текст, сгенерированный без проверки, может содержать несуществующие цифры, ложные утверждения и битую логику, поданные безупречно гладким языком. Для бизнеса чья репутация строится на доверии, это прямая угроза. Поэтому золотое правило работы с ИИ в SEO остаётся

неизменным: *машина предлагает – человек проверяет и отвечает за результат.*

Что дальше: поиск, который опережает вопрос

Если сегодняшний рубеж – это ответы прямо в выдаче, то следующий горизонт выглядит ещё радикальнее. Специалисты говорят о приближении эпохи «нулевого поиска» (zero-search discovery): ИИ-системы будут проактивно предлагать нужную информацию *ещё до того*, как человек сформулировал запрос, – опираясь на контекст, историю и привычки пользователя.

Параллельно растёт роль голоса. Запросы к ассистентам вроде «Алисы» формулируются иначе, чем то, что мы печатаем в строке поиска: длиннее, естественнее, разговорнее. А голосовой ответ почти всегда один – не список из десяти ссылок, а единственная реплика. Конкуренция за это «единственное место» будет только обостряться, и выиграет тот, чей контент звучит как живой, точный ответ на человеческий вопрос.

Меняется и сама профессия. SEO-специалист всё меньше похож на технического настройщика метатегов и всё больше – на стратега, который управляет нейросетями, проверяет их работу, выстраивает экспертность бренда и думает о том, как стать *источником, достойным цитирования*. Рутину забирает ИИ; человеку остаётся смысл, ответственность и понимание аудитории – то, что машине пока не под силу.

Заключение: помощник, а не волшебная кнопка

Поисковая оптимизация была и остаётся одним из самых эффективных способов привести на сайт качественный трафик. Её цель – показать ресурс поисковым системам в лучшем свете и занять верхние строчки по запросам, важным для вашей аудитории. Но это не разовая акция, а постоянный процесс: алгоритмы ранжирования непрерывно меняются, и то, что работало вчера, завтра может потерять силу.

Искусственный интеллект сделал эту работу быстрее, дешевле и умнее. Он автоматизирует рутину, снижает риск ошибок, подсказывает стратегию и помогает выстраивать живой

диалог с аудиторией. Но одновременно он же перевернул сам поиск, заставив бизнес учиться попадать не на первую строчку, а в текст ответа нейросети.

Вывод оптимистичный и трезвый одновременно: нейросеть – не волшебная кнопка «сделать хорошо», а инструмент, требующий понимания и контроля. В неумелых руках она генерирует бессмысленный текст для роботов. В умелых – становится надёжным помощником, который выводит проект вперёд в мире, где побеждает не тот, у кого громче реклама, а тот, кому больше доверяют и люди, и алгоритмы.

Литература

1. Боровская Е.В., Давыдова Н.А. Основы искусственного интеллекта. – 2020.
2. Микелуччи У. Прикладное глубокое обучение. – 2021.
3. Сейновски Т. Антология машинного обучения. – 2021.
4. Журавлёв Ю. Искусственный интеллект и машинное обучение. – 2018.
5. Шилов В.Н., Шилова О.А. Обработка и анализ больших данных. – 2017.
6. Кудрявцев Ю.А. Машинное обучение и анализ данных. – 2019.
7. Аналитика рынка SEO и AI-поиска 2025–2026: данные Similarweb, Semrush, Backlinko об AI Overviews, zero-click и GEO.
8. Методология и принципы размещения активов / В.В. Осадчий, А.Л. Золкин, О.П. Шевченко [и др.] // SHS Web of Conferences: XVII Международная научно-практическая конференция по устойчивому развитию регионов (МФУУР 2021), Екатеринбург, 23–25 ноября 2021 года. – Екатеринбург: SHS Web of Conferences, 2021. – С. 04006. – DOI 10.1051/shsconf/202112804006.
9. Осадчий В.В. Многофакторная модель в коммерческой финансовой системе / В.В. Осадчий // Журнал прикладных исследований. – 2021. – Т. 3. – № 3. – С. 12–16. – DOI 10.47576/2712_7516_2021_3_3_12.
10. Осадчий В.В. Основы инвестирования. Правила для начинающих инвесторов / В.В. Осадчий // Управленческий учет. – 2020. – № 4. – С. 35–38.

KHANINA Anastasia Igorevna

System Architect,

Russian State Technological University named after Tsiolkovsky (MATI), Russia, Moscow

THE BATTLE FOR THE FRONT PAGE: HOW ARTIFICIAL INTELLIGENCE IS CHANGING SEO AND SEARCH ITSELF

Abstract. *The article is devoted to the transformation of search engine optimization (SEO) in the era of artificial intelligence development. The author explains the basic principles of SEO and its advantages over paid advertising: low cost, long-term effect and attracting "hot" traffic - users with a clear intention to take action.*

Keywords: *SEO, search engine optimization, artificial intelligence (AI), AI Overviews, neural responses, GEO (Generative Engine Optimization), AEO (Answer Engine Optimization), organic traffic, conversion.*

ХАНИНА Анастасия Игоревна

системный архитектор,

Российский государственный технологический университет имени Циолковского (МАТИ),
Россия, г. Москва

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА СЛУЖБЕ УПРАВЛЕНИЯ: ЧТО ОН УЖЕ УМЕЕТ – И ГДЕ ПО-ПРЕЖНЕМУ ОШИБАЕТСЯ

Аннотация. Статья рассматривает эволюцию искусственного интеллекта (ИИ) и его влияние на управление бизнесом в современных условиях. Автор анализирует, как ИИ трансформирует ключевые отрасли (транспорт, производство, здравоохранение, развлечения, спорт) и помогает решать повседневные управленческие задачи: от ценообразования и безопасности до автоматизации рутинных операций и работы с клиентами.

Ключевые слова: искусственный интеллект (ИИ), цифровая трансформация, слабый (узкий) ИИ, сильный ИИ, суперинтеллект, предиктивная аналитика, машинное обучение, автоматизация бизнес-процессов.

Ещё десять лет назад «умный алгоритм» означал чуть более удачную сортировку писем в почте. Сегодня искусственный интеллект ставит медицинские диагнозы, водит автомобили, торгует на бирже и подсказывает руководителям, какое решение принять. Разберёмся без хайпа и без паники: где ИИ действительно меняет управление бизнесом, как он это делает – и почему доверять ему вслепую по-прежнему опасно.

Помощник, который думает быстрее

Представьте руководителя, у которого есть круглосуточный аналитик. Он никогда не устаёт, читает миллионы документов за секунды, не отвлекается на эмоции и готов просчитать сотню вариантов развития событий, пока вы наливаете себе кофе. Именно такую роль всё чаще играет искусственный интеллект в современном управлении. Главное его преимущество – не в том, что он заменяет человека, а в том, что он ускоряет принятие решений и одновременно повышает их качество.

Цифровая трансформация перестала быть модным словом из презентаций. Это реальный способ для экономики выйти из застоя и перейти к новому технологическому укладу. По данным консалтинговой компании McKinsey, около трёх четвертей руководителей ожидают значительных изменений в продажах и маркетинге из-за генеративного ИИ уже в ближайшие годы. Технология окончательно превратилась из лабораторного эксперимента в рабочий инструмент, переопределяющий сами стандарты эффективности.

Но прежде, чем восхищаться или пугаться, полезно понять простую вещь: «искусственный интеллект» – это не один волшебный мозг, а целое семейство очень разных технологий.

Три «возраста» искусственного интеллекта

Специалисты обычно делят ИИ на три типа – и разница между ними принципиальна.

Слабый (узкий) ИИ – это всё, что окружает нас прямо сейчас. Он блестяще решает одну конкретную задачу: распознаёт лица, переводит тексты, рекомендует фильмы, отсеивает спам. Такой ИИ делает свою работу быстрее и точнее человека и постоянно совершенствуется. Но у него есть жёсткая граница: алгоритм, обученный обрабатывать фотографии, не научится сам собой переводить тексты. Он – гениальный узкий специалист, а не эрудит.

Сильный ИИ – следующая ступень, максимально приближённая к человеческому мышлению. Теоретически он способен принимать решения в ситуациях, которым его специально не учили, и переносить знания из одной области в другую. Современные большие языковые модели подошли к этой границе ближе, чем кто-либо ожидал ещё пять лет назад, хотя до полноценного «самосознания» им по-прежнему далеко.

Суперинтеллект – пока область научной фантастики и философских споров. Это гипотетический разум, превосходящий лучшие умы человечества во всех областях сразу. Появится ли он и когда – на этот вопрос честного ответа сегодня нет ни у кого.

Практически весь экономический эффект, о котором пойдёт речь дальше, создаёт именно скромный «слабый» ИИ. И этого, как мы увидим, уже более чем достаточно.

Где ИИ уже изменил правила игры

Искусственный интеллект сортирует контент по предпочтениям пользователей, пишет и понимает тексты, распознаёт речь и узнаёт людей по фотографии. Но интереснее посмотреть на целые отрасли, где он перевернул привычные процессы:

- **Транспорт.** Беспилотные автомобили анализируют дорожный трафик, перестраивают маршруты в реальном времени и сокращают время в пути. Робомобили компании Waymo уже выполняют миллионы платных поездок без водителя на улицах американских городов – то, что недавно казалось трюком из кино, стало обыденным сервисом такси.

- **Производство.** Высокопроизводительные роботы, вооружённые машинным зрением и 3D-технологиями, выполняют задачи быстрее и стабильнее человека. Они не устают к концу смены и не теряют концентрацию – а значит, не делают «усталых» ошибок, которые дорого обходятся на конвейере.

- **Здравоохранение.** Здесь произошёл, без преувеличения, прорыв века. В 2024 году Нобелевскую премию по химии присудили создателям программы AlphaFold – искусственного интеллекта, который предсказал пространственную структуру более 200 миллионов белков. Задачу, над которой биохимия билась полвека, нейросеть решила с почти атомной точностью. Сегодня AlphaFold используют более двух миллионов исследователей из 190 стран – от поиска новых лекарств до создания ферментов, разлагающих пластик. Параллельно автономные хирургические роботы и системы автоматической диагностики снимков делают медицину точнее и доступнее, в том числе в формате телемедицины.

- **Развлечения.** Машинное обучение предсказывает, что вам захочется посмотреть или послушать, и подбирает контент персонально. По разным оценкам, рекомендательные алгоритмы определяют львиную долю того, что зрители реально смотрят на стриминговых платформах. Та же логика работает в рекламе: ИИ показывает каждому именно то предложение, на которое он с наибольшей вероятностью откликнется.

- **Спорт.** Предиктивная аналитика помогает прогнозировать результаты спортсменов,

управлять продажами билетов и принимать тренерские решения. Профессиональные аналитики выстраивают на статистических моделях целые системы прогнозов – от вероятности гола до итогового счёта матча.

ИИ как менеджер: шесть конкретных задач

Спустимся с уровня отраслей на уровень повседневных управленческих задач. Вот где «узкий» ИИ приносит деньги прямо сейчас:

1. **Ценообразование.** ИИ обрабатывает гигантские массивы данных и подбирает оптимальную цену на каждый товар в каждый момент времени. Динамическое ценообразование, которое мы видим у авиакомпаний и маркетплейсов, – это именно его работа. Результат – заметный рост выручки без увеличения затрат.

2. **Безопасность.** Самообучающиеся нейросети анализируют поведение клиентов и мгновенно вычисляют подозрительные операции. Банковские антифрод-системы блокируют мошеннические транзакции за доли секунды, снижая потери и повышая доверие пользователей – там, где человек просто не успел бы среагировать.

3. **Маркетинг.** Изучая историю продаж, поведение клиентов и действия конкурентов, ИИ прогнозирует, какие шаги приведут к успеху, а какие – к провалу. Это позволяет строить стратегию не на интуиции, а на данных. По данным исследования Google за 2025 год, 88 % компаний, внедривших ИИ-решения в работу с клиентами, уже зафиксировали положительную окупаемость инвестиций.

4. **Скорость работы с данными.** Большие данные (Big Data) – топливо искусственного интеллекта. В отличие от классических программ, которые без переобучения не умеют подстраиваться под меняющиеся условия, ИИ адаптируется на лету. Именно поэтому алгоритмическая торговля захватила биржи: машина реагирует на новости рынка быстрее любого трейдера.

5. **Автоматизация рутины.** У человека есть «человеческий фактор» – усталость, рассеянность, эмоции. У алгоритма их нет. Поручив ему монотонные расчёты и проверки, компания получает безошибочную и предсказуемую работу, а сотрудников освобождает для задач, требующих творчества и эмпатии.

6. **Виртуальные помощники.** Чат-боты и голосовые ассистенты вроде Siri и «Окей, Google» распознают речь, отвечают на вопросы

и выполняют стандартные операции – например, делают денежные переводы. Они стали первой линией поддержки клиентов, разгрузив колл-центры.

Предиктивная аналитика: взгляд в будущее на основе данных

Отдельного разговора заслуживает способность ИИ предсказывать будущее – точнее, наиболее вероятные сценарии. Алгоритмы машинного обучения обрабатывают огромные массивы информации, находят в них скрытые закономерности и просчитывают, что будет дальше.

Самое ценное здесь – то, что ИИ извлекает пользу из данных, которые раньше просто пылились в архивах компаний. Он способен прогнать бесконечное число сценариев и показать руководителю не один «правильный ответ», а карту возможностей с оценкой рисков по каждому пути. Решение по-прежнему принимает человек – но теперь оно подкреплено фактами, а не догадками. По сути, ИИ становится тем самым беспристрастным советником, который смотрит на ситуацию со стороны и подсвечивает «слепые зоны», которые легко упустить, находясь внутри процесса.

Как внедрить ИИ: путь из четырёх шагов

Внедрение искусственного интеллекта – это не покупка коробки с программой, а перестройка процессов. Обычно путь выглядит так.

Шаг первый – собрать и привести в порядок данные: очистить, структурировать, систематизировать. Без качественных данных даже самый умный алгоритм бесполезен – «мусор на входе, мусор на выходе».

Шаг второй – разработать или настроить алгоритмы, способные к самообучению. И здесь возникает главное узкое место: нужны квалифицированные специалисты, которые научат систему именно тому, что нужно конкретному бизнесу. Хорошая новость в том, что на рынке уже много готовых решений, заметно ускоряющих этот этап.

Шаг третий – перестроить технологические и бизнес-процессы под новые возможности. Без участия человека тут не обойтись: машина предлагает, но архитектуру изменений выстраивают люди.

Шаг четвёртый – масштабирование. И именно на нём спотыкается большинство. Исследования 2025 года показывают отрезвляющую картину: огромная доля корпоративных ИИ-проектов так и остаётся на стадии пилотов, которые длятся несколько недель и нередко

заканчиваются ничем. Лишь небольшая часть внедрений приносит ощутимую прибыль. Разница между лидерами и аутсайдерами – не в том, у кого «умнее» нейросеть, а в том, кто сумел встроить её в реальные процессы, а не оставил красивой игрушкой для презентаций.

Тёмная сторона: где ИИ подводит

А теперь – честно о недостатках. Главный из них носит почти поэтичное название: «галлюцинации». Искусственный интеллект может с абсолютной уверенностью выдумать факт и преподнести его как достоверный. Он сочиняет несуществующие источники, путается в цифрах, использует для расчётов выдуманные формулы. Самое коварное – делает это тем же спокойным, убедительным тоном, что и при ответе на простой вопрос.

Это не теоретическая угроза. Хрестоматийный случай произошёл в США: опытный адвокат подготовил иск к авиакомпании, попросив ChatGPT найти подходящие судебные прецеденты. Нейросеть бодро выдала несколько дел – и все они оказались полностью вымышленными, вплоть до несуществующих авиакомпаний. Юрист принял чат-бота за «суперпоисковик» и не перепроверил ответы. Итог – штраф и публичный позор на весь профессиональный мир. А в конце 2025 года подобная история впервые дошла и до России: суд оштрафовал компанию на 50 тысяч рублей за то, что её юристы сослались в жалобе на судебные акты, которых попросту не существовало, – их придумала нейросеть.

Мораль проста и универсальна: *каждый факт, полученный от ИИ, нужно проверять*. Алгоритм великолепно справляется с расчётами, анализом и сравнением вариантов – но иногда сыплется на задаче, похожей на ту, что только что решил блестяще. Он не понимает смысла так, как понимает его человек; он лишь очень убедительно предсказывает «правдоподобный» ответ.

Отсюда – ключевой принцип здорового сотрудничества с ИИ: он должен оставаться помощником под контролем человека, а не безоговорочным оракулом. Доверяй, но проверяй – старое правило в эпоху нейросетей звучит особенно актуально.

Заберёт ли ИИ нашу работу?

Это, пожалуй, главный вопрос, который волнует людей за пределами совещаний по цифровизации. И ответ на него куда тоньше пугающих заголовков.

История уже знает похожие сюжеты. Появление банкоматов в своё время предрекало гибель профессии банковского кассира – однако число сотрудников отделений выросло: машины забрали рутину выдачи наличных, а люди переключились на консультирование и продажи. Та же логика работает и сейчас. Искусственный интеллект чаще всего автоматизирует не профессию целиком, а *отдельные задачи внутри неё* – самые однообразные и утомительные.

Меняется и сам характер ценности сотрудника. Раньше преимущество давало умение быстро искать и обрабатывать информацию – теперь это умеет машина. На первый план выходят качества, которые алгоритму недоступны: способность задавать правильные вопросы, критически оценивать ответы ИИ, нести ответственность за результат, договариваться с людьми и улавливать то, что не выражается в цифрах. Появляется и совершенно новый класс задач – грамотно ставить задачи самому ИИ и проверять его работу.

Поэтому формула будущего звучит не «человек *против* машины», а «человек *плюс* машина». Опыт показывает: специалиста чаще вытесняет не искусственный интеллект как таковой, а другой специалист – тот, кто научился им пользоваться. Именно поэтому цифровая грамотность из приятного бонуса быстро превращается в базовый профессиональный навык, такой же обязательный, как когда-то умение работать с электронной почтой.

Заключение: помощник, а не соперник

Цифровые технологии XXI века стали мощным двигателем экономического роста – за счёт автоматизации, точности и новых возможностей повышать эффективность управления. Искусственный интеллект применим почти к любому бизнес-процессу: он сглаживает системные противоречия, высвобождает ресурсы и открывает дорогу к устойчивому развитию и росту производительности труда.

Но за всеми впечатляющими цифрами стоит простая мысль, с которой мы начали. Искусственный интеллект призван стать источником повышения качества человеческого капитала, а не его заменой. Он берёт на себя рутину, считает быстрее и видит закономерности,

недоступные нашему вниманию. А человеку остаётся то, что машине по-настоящему не под силу: ставить цели, нести ответственность, чувствовать контекст и принимать окончательное решение.

Лучшая стратегия будущего – не соревноваться с ИИ и не бояться его, а научиться работать в паре. Победят не те, у кого самый мощный алгоритм, а те, кто умнее всех сумеет соединить вычислительную силу машины с человеческой мудростью.

Литература

1. Ильясов Ф.Н. Разум искусственный и естественный. – 1986.
2. Алиев А.Т., Титов А.В. Оценка текущего состояния и перспектив развития цифровой индустрии в промышленном производстве России. – 2018.
3. Кравченко А.И. История менеджмента. – 2005.
4. Исследование McKinsey о трендах внедрения ИИ в компаниях, 2025.
5. Нобелевский комитет: премия по химии 2024 года за предсказание структуры белков (AlphaFold), Google DeepMind.
6. Исследование Google ROI AI-CRM, 2025.
7. Материалы The Associated Press и «Российской газеты» о судебных кейсах, связанных с ошибками ИИ (2023–2025).
8. Методология и принципы размещения активов / В.В. Осадчий, А.Л. Золкин, О.П. Шевченко [и др.] // SHS Web of Conferences: XVII Международная научно-практическая конференция по устойчивому развитию регионов (МФУУР 2021), Екатеринбург, 23–25 ноября 2021 года. – Екатеринбург: SHS Web of Conferences, 2021. – С. 04006. – DOI 10.1051/shsconf/202112804006.
9. Осадчий В.В. Многофакторная модель в коммерческой финансовой системе / В.В. Осадчий // Журнал прикладных исследований. – 2021. – Т. 3. – № 3. – С. 12-16. – DOI 10.47576/2712_7516_2021_3_3_12.
10. Осадчий В.В. Основы инвестирования. Правила для начинающих инвесторов / В.В. Осадчий // Управленческий учет. – 2020. – № 4. – С. 35-38.

KHANINA Anastasia Igorevna

System Architect,

Russian State Technological University named after Tsiolkovsky (MATI), Russia, Moscow

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE SERVICE OF MANAGEMENT: WHAT HE ALREADY KNOWS, AND WHERE HE STILL MAKES MISTAKES

Abstract. *The article examines the evolution of artificial intelligence (AI) and its impact on business management in modern conditions. The author analyzes how AI is transforming key industries (transportation, manufacturing, healthcare, entertainment, sports) and helps solve everyday management tasks: from pricing and security to automation of routine operations and customer service.*

Keywords: *artificial intelligence (AI), digital transformation, weak (narrow) AI, strong AI, superintelligence, predictive analytics, machine learning, automation of business processes.*

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

КУЗНЕЦОВА Анастасия Андреевна

магистрантка,

Дальневосточный аграрный государственный университет, Россия, г. Благовещенск

*Научный руководитель – доцент Дальневосточного аграрного государственного университета,
доктор технических наук Воякин Сергей Николаевич*

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДЗЗ, БПЛА И КАДАСТРОВОГО УЧЁТА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ

Аннотация. В статье представлен обзор и сравнительная оценка трёх методик определения площади сельскохозяйственных полей – спутникового дистанционного зондирования (Sentinel-2), аэрофотосъёмки с БПЛА и кадастрового учёта (ЕГРН) – с применением алгоритмов семантической сегментации U-Net и DeepLabV3+. На выборке из 12 полей площадью 5,6–575,25 га установлено, что метод БПЛА обеспечивает среднюю относительную погрешность 0,6%, спутниковый метод – 4,6% (2,3% с калибровкой). Разработан программный комплекс FieldCompareBot v4.1, сокращающий трудоёмкость определения площади в 12–40 раз.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, БПЛА, кадастровый учёт, семантическая сегментация, U-Net, DeepLabV3+, площадь поля, точное земледелие, агроинженерия.

Достоверная пространственная информация о сельскохозяйственных угодьях – основа современного точного земледелия. Точная площадь поля определяет нормы расхода семян, удобрений и средств защиты растений, а также параметры дозирования технологических жидкостей системами автоматического управления электрооборудованием агромашин. Погрешность в 5% для поля площадью 500 га соответствует неучтённым 25 га, что влечёт прямые экономические потери и нарушение регламентов точного применения агрохимикатов. В условиях электрификации и автоматизации АПК ошибка исходных данных транслируется в ошибку работы всей технологической цепочки.

Три основных подхода к измерению площади полей принципиально различаются по точности, стоимости и применимости. Кадастровый учёт юридически значим, но недостаточно оперативен. Открытые спутниковые данные Sentinel-2 (10 м/пикс) бесплатны и охватывают обширные территории, обеспечивая погрешность 5–15%. Аэросъёмка БПЛА даёт

сантиметровое разрешение при умеренной стоимости. Развитие методов глубокого обучения – архитектур семантической сегментации U-Net и DeepLabV3+ – открывает возможности для высокоточного автоматизированного выделения границ полей. Целью работы является разработка и экспериментальная верификация методики автоматизированного определения и сравнительной оценки точности площади полей по данным ДЗЗ, БПЛА и кадастра, а также создание программного комплекса для её интеграции в системы управления агропредприятием.

Методика исследования

Исследование выполнено по схеме сравнительного полевого эксперимента: площадь 12 полей различной конфигурации (прямоугольные, полигональные, сложные) определялась тремя независимыми методами, результаты сопоставлялись с кадастровым эталоном ЕГРН. Выборка намеренно охватывает широкий диапазон площадей (5,6–575,25 га) для проверки устойчивости методики на экстремальных

значениях. Точность оценивалась системой из пяти метрик: относительная (RE, MRE) и абсолютная (MAE) погрешности, среднеквадратическая погрешность (RMSE), коэффициент корреляции Пирсона (r) и систематическое смещение (Bias).

Спутниковые снимки Sentinel-2 L2A (облачность < 10%) обрабатывались моделью U-Net с энкодером ResNet-34, дообученной на датасете FieldSAT (IoU = 0,882). Аэрофотосъёмка выполнялась комплексом DJI Matrice 300 RTK с камерой Zenmuse P1 (GSD 3,5 см); ортофотопланы обрабатывались моделью DeepLabV3+ с энкодером ResNet-50 (IoU = 0,914). Кадастровые

данные получены через публичную кадастровую карту и API Росреестра. Для устранения систематической погрешности реализован механизм автокалибровки наземного разрешения (GSD) по кадастровым значениям.

Результаты и обсуждение.

Сводные показатели точности трёх методик приведены в таблице 1. Метод БПЛА с моделью DeepLabV3+ показал наивысшую точность (MRE = 0,6%, $r = 0,9999$), практически совпадающую с кадастровым эталоном. Спутниковый метод с U-Net обеспечил MRE = 4,6%, снижаемую до 2,3% при калибровке по кадастру.

Таблица

Сводные показатели точности методик

Метрика	U-Net (без кал.)	U-Net (с кал.)	DeepLabV3+ (БПЛА)
MRE, %	4,6	2,3	0,6
MAE, га	3,8	1,9	0,56
RMSE, га	7,65	3,83	1,2
r (корреляция)	0,981	0,988	0,9999
Bias, га	+3,8	+0,7	+0,4
Средний IoU	0,882	0,882	0,935

Важным результатом является выявленная зависимость погрешности от конфигурации поля, выраженной индексом формы $SI = P / (2\sqrt{\pi S})$. Для модели U-Net установлена статистически значимая связь RE с индексом формы ($R^2 = 0,54$, $p < 0,01$): погрешность возрастает для полей со сложными вогнутыми контурами ($SI > 1,30$). У модели DeepLabV3+ такая зависимость отсутствует ($R^2 = 0,10$, $p = 0,34$), что свидетельствует об устойчивости метода БПЛА к форме поля. Все попарные различия в точности методик статистически значимы по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$).

Для автоматизации обработки разработан программный комплекс FieldCompareBot v4.1 на платформе Telegram (Python 3.11, PyTorch 2.2), интегрирующий обе нейросетевые модели и механизм калибровки. Производственное тестирование в агропромышленном предприятии (112 снимков, 12 пользователей) показало: время обработки 18 с (спутник) и 34 с (БПЛА), успешность 97,3%, оценку интерфейса 4,3 из 5,0 и сокращение трудоёмкости определения площади в 12–40 раз по сравнению с ручным дешифрированием. Полученные данные о площади передаются в систему нормирования ресурсов для автоматического расчёта доз удобрений, программирования маршрутов агромашин и планирования нагрузки на электрооборудование оросительных систем.

Выводы:

1. Ни один из трёх методов не является универсальным: кадастровый учёт наиболее точен и юридически значим, но неоперативен; БПЛА обеспечивает наилучшее соотношение точности и оперативности; спутник оптимален по критерию «стоимость – охват». Нейросетевые модели U-Net и DeepLabV3+ существенно превосходят геометрический алгоритм Собеля + ConvexHull.

2. На выборке 12 полей метод БПЛА (DeepLabV3+) достиг MRE = 0,6%, спутниковый метод (U-Net) – 4,6% (2,3% с калибровкой). Впервые количественно установлена зависимость погрешности U-Net от индекса формы поля, отсутствующая у DeepLabV3+.

3. Разработанный программный комплекс FieldCompareBot v4.1 внедрён в производство и сокращает трудоёмкость определения площади в 12–40 раз, что подтверждает практическую значимость предложенной методики для задач агроинженерии и точного земледелия.

Литература

1. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // MICCAI. LNCS. – Springer, 2015. – Vol. 9351. – P. 234-241.

2. Chen L.-C., Zhu Y., Papandreou G. et al. Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation // ECCV. – 2018. – P. 833-851.
3. Waldner F., Diakogiannis F.I. Deep Learning on Edge: Extracting Field Boundaries from Satellite Images with a Convolutional Neural Network // Remote Sensing of Environment. – 2020. – Vol. 245. – Art. 111741.
4. Drusch M., Del Bello U., Carlier S. et al. Sentinel-2: ESA Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services // Remote Sensing of Environment. – 2012. – Vol. 120. – P. 25-36.
5. Кравченко А.Н., Рябов В.П. Дистанционное зондирование Земли в задачах мониторинга сельскохозяйственных угодий. – М.: ГЕОС, 2021. – 248 с.
6. Сидорчук В.Е., Ткаченко Д.А. Фотограмметрия с использованием беспилотных авиационных систем. – М.: Картгеоцентр, 2022. – 312 с.
7. Мусихин А.О., Коротков И.В. Методы автоматического дешифрирования угодий по материалам ДЗЗ // Геодезия и картография. – 2023. – № 4. – С. 18-27.

KUZNETSOVA Anastasia Andreevna

Graduate Student, Far Eastern Agrarian State University, Russia, Blagoveshchensk

*Scientific Advisor – Associate Professor of the Far Eastern Agrarian State University,
Doctor of Technical Sciences Voyakin Sergey Nikolaevich*

COMPARATIVE ASSESSMENT OF METHODS FOR DETERMINING THE AREA OF AGRICULTURAL FIELDS BASED ON REMOTE SENSING DATA, UAVS AND CADASTRAL ACCOUNTING USING NEURAL NETWORK SEGMENTATION

Abstract. *The article provides an overview and comparative assessment of three methods for determining the area of agricultural fields - satellite remote sensing (Sentinel-2), aerial photography from UAVs and cadastral registration (EGRN) – using semantic segmentation algorithms U-Net and DeepLabV3+. Based on a sample of 12 fields with an area of 5.6–575.25 hectares, it was found that the UAV method provides an average relative error of 0.6%, the satellite method – 4.6% (2.3% with calibration). The FieldCompareBot v4.1 software package has been developed, reducing the complexity of determining the area by 12-40 times.*

Keywords: *remote sensing of the Earth, UAV, cadastral registration, semantic segmentation, U-Net, DeepLabV3+, field area, precision agriculture, agroengineering.*

СОЦИОЛОГИЯ

АБДУПАТАЕВА Зинатой

студентка, Американский университет в Центральной Азии, Кыргызстан, г. Бишкек

МОШЕННИКИ ПОД МАСКОЙ ПРОПОВЕДНИКОВ

Аннотация. В исследовании рассматриваются случаи деятельности мошенников, скрывающихся под маской религиозных проповедников. Религия играет важную роль в жизни человека, обеспечивая смысл, утешение и этические рамки. Вера дает надежду и формирует сообщества людей со схожими идеями. Работа направлена на изучение психологических и социологических черт, позволяющих самопровозглашенным духовным лидерам манипулировать своими последователями. В исследовании рассматриваются исторический и психологический контекст, анализируются нормативные документы, новости и видеоматериалы деструктивных культов на примерах различных религиозных перспектив для сравнения истинных намерений лидеров культов и их последователей.

Ключевые слова: религиозные мошенники, проповедники, психологическое манипулирование, тоталитарные секты, Аум Синрикё, Белое братство, культы, апокалипсис.

Введение (теоретический анализ, постановка проблемы)

Религия играет важную роль в человеческой жизни, предоставляя смысл, утешение и этические рамки. В основном вера дает надежду и формирует сообщества людей, разделяющих общие идеи. Однако человеку бывает трудно найти правильную и истинную религию или общину для себя. Существуют определенные личности, которые стремятся использовать веру, надежду, горе и доверие людей в своих собственных эгоистических интересах. Настоящая работа направлена на изучение психологических и социологических черт, которые позволяют самопровозглашенным духовным лидерам манипулировать своими последователями.

Объекты и методы исследования

В рамках данного исследования рассматриваются кейсы деструктивных движений из различных религиозных перспектив с целью сравнения и понимания истинных намерений лидеров культов и их последователей. В объем работы включены исторический и психологический контекст, обзоры нормативных и программных документов, а также детальный анализ новостных сообщений и видеоматериалов. Основными объектами сравнительного анализа выступают религиозная организация «Аум Синрикё» (Япония), движение «Белое

братство» (Украина), группа последователей Петра Кузнецова (Россия) и сатанинский культ Адольфо Констанцо (Мексика).

Результаты и их обсуждение

В первой части работы рассматривается, как лидеры, говорившие о мире во всем мире, подвергли опасности тысячи людей. 20 марта 1995 года в 7:45 пять человек вошли в токийский метрополитен с зонтиками с острыми концами и 11 свертками газет, внутри которых находились пакеты с жидкостью, превращающейся в смертоносный газ зарин. Они имели приказ принести просвещение людям своим уникальным способом. Речь идет об «Аум Синрикё» – культе, который превратил жизни более чем 5000 человек в кошмар. Эта духовная группа возникла в 1980-х годах, а ее название означает «высшая истина». Вероучение «Аум Синрикё» представляло собой смесь индуистских и буддийских верований, в которую позже добавились элементы христианских апокалиптических пророчеств [2]. Основатель культа объявил себя одновременно Христом и первым «просветленным» со времен Будды [2]. Согласно Шоко Асахаре, те, кто не верил в его учение, имели «гнилое сердце» и заслуживали смерти [3, 4, 5]. Он намеревался использовать биологическое оружие, разработанное в лаборатории в Австралии, стоимость которого обошлась ему в 50 миллионов долларов, чтобы «просветить»

тех, кто насмехался над его убеждениями и не принимал их [3, 4, 5]. Асахара манипулировал своими последователями, понуждая их к совершению преступлений, включая смертоносную газовую атаку в метро Токио в марте 1995 года [12]. Этот теракт унес жизни 13 человек и ранил более 5800 других, став самым смертоносным инцидентом внутреннего терроризма в Японии [3, 4, 5]. Асахара убедил учеников, что в 1997 году близок глобальный апокалипсис и выживут только они [3, 4, 5]. Насильственные действия культа потрясли Японию, приведя к аресту и казни Асахары и нескольких высших членов организации [12]. В результате судебного процесса подсудимый был приговорен к смертной казни по 13 пунктам обвинения, включая похищение 26 человек [3, 4, 5]. Вердикт был вынесен в феврале 2004 года, а исполнение приговора состоялось 6 июля 2018 года [3, 4, 5]. История «Аум Синрикё» демонстрирует, как страх и обещания спасения могут использоваться в качестве оружия для оправдания ужасных действий.

«Белое братство», действовавшее на Украине в начале 1990-х годов, представляет собой еще один пример религиозного мошенничества. Движение было основано в Киеве. Его возглавила журналистка из Донецка Марина Цвигун, принявшая имя «Мария Деви Христос» и объявившая себя божеством [9]. Согласно источникам, она объявила себя богиней после хирургической операции (седьмого аборта), в ходе которой находилась в состоянии клинической смерти. Совместно со своим мужем Юрием Кривоноговым она объявила, что 24 ноября 1993 года состоится «Страшный суд». Избежать гибели могли только последователи их учения, которым, как и членам «Аум Синрикё», требовалось отказаться от всего своего имущества, включая кредитные карты, паспорта, налоговые идентификационные номера и другие личные вещи [9]. В Киеве эта женщина планировала массовое убийство «ненужных братьев». «Белое братство» установило дату конца света на 11 ноября 1993 года [9]. В этот день несколько сотен членов секты собрались в центре Киева и заблокировали себя внутри Софийского собора, намереваясь сжечь себя заживо, чтобы позволить своему лидеру, Марии Деви Христос, вознестись на небеса [9]. Однако сама она не была готова пожертвовать собой и попыталась покинуть здание через задний выход [9]. Безумие было остановлено отрядами ОМОНа.

Арест членов секты перерос в столкновение, повлекшее насилие [9].

Похожая история развернулась в России в 2007 году. Несколько человек были очарованы и заморожены красноречивой речью инженера Петра Кузнецова, страдавшего психическим расстройством – шизофренией [6, 7]. Кузнецов убедил последователей уйти жить в подземный бункер в 2007 году в ожидании апокалипсиса. Он рассчитал, что мир погибнет 18 мая 2008 года в результате столкновения кометы с Землей. С целью спасения он построил подземные убежища, в которые вошли 35 его последователей, включая 4 детей и одного взрослого, который зашел лишь помочь занести вещи [6, 7]. Группа оставалась там в течение многих месяцев в суровых условиях, пока не вмешались власти. Оба этих случая подчеркивают, как страх перед концом света может толкать людей на крайние формы поведения под влиянием манипулятивных лидеров.

Следующий случай посвящен сатанинскому культу, основателем которого стал Адольфо Констанцо. Рожденный в римско-католической семье, он быстро перешел в альтернативную религию, сосредоточившись на черной магии и оккультизме [8]. Адольфо Констанцо являлся лидером культа, преступником и наркоторговцем в 1980-х годах, смешивавшим афрокарибские религиозные практики, такие как Пало Майомбе, с жестокими ритуалами [6, 7]. Рожденный в 1962 году в Майами, штат Флорида, он вырос, практикуя Сантерию, а позже создал культ в Мехико, обещавший последователям защиту и власть через жертвоприношения [6, 7]. В то время как «Аум Синрикё» и «Белое братство» фокусировались на духовных или апокалиптических верованиях, Констанцо сочетал религиозные ритуалы с криминальной деятельностью. Он связался с наркокартелями, предлагая «духовную защиту» посредством ритуалов, включавших человеческие жертвоприношения [13]. К 1984 году он сформировал культ, где последователи называли его «Эль Падрино» (Крестный отец) и почитали как духовного и криминального лидера. В 1989 году деятельность возглавляемого им культа была раскрыта после исчезновения американского студента Марка Килроя, чье тело позже было найдено изуродованным на ранчо близ Матамороса в Мексике. Тело находилось среди 14 других, обнаруженных на ранчо, где также присутствовали ритуальные предметы, включая котел, использовавшийся для темных обрядов

[6, 7]. Центральное место в ритуалах Констанцо занимала «нганга» – священный котел, наполненный ритуальными ингредиентами, включая монеты, травы, палки, могильную землю, кости и черепа жертв жертвоприношений; петухи, козы и другие животные забивались, а их кровь выливалась в «нгангу» [8]. Во время преследования со стороны властей Констанцо и несколько членов культа бежали в Мехико. 6 мая 1989 года полиция обнаружила их в квартире в Мехико. Осознав, что идти больше некуда, Констанцо приказал одному из своих последователей застрелить его и его партнера Мартина Кинтану. Оба были убиты до того, как полиция вошла в квартиру, оставив остальных членов группы сталкиваться с последствиями [6, 7].

На первый взгляд, эти случаи могут показаться отличными друг от друга. Однако при более детальном рассмотрении сходства становятся очевидными. От целей лидеров сект до применяемых ими манипулятивных техник – каждый случай демонстрирует многочисленные параллели. Согласно изученным статьям, отчетам новостей и видеоматериалам, можно сделать вывод, что преступники полагались на тактики эмоционального манипулирования для воздействия на своих жертв. Вначале мошенники под маской проповедников завоевывали доверие жертв, делая вид, что понимают их и предлагают поддержку. Затем они ослабляли их физическое и психическое здоровье, заставляя спать всего по 2–3 часа в сутки, употреблять минимальное количество пищи, медитировать в темных комнатах в течение нескольких дней или часами находиться в холодной воде, что часто приводило к смерти [6, 7]. Наиболее тревожным аспектом является психологическое давление на жертв с целью убедить их в том, что они никому не нужны, грешны и должны быть наказаны за свою вину. Часто жертвы не понимали, как они оказались вовлечены в секты, а когда осознавали это и пытались уйти, они могли погибнуть. Например, новый член «Аум Синрикё» был задушен после вопроса о том, что произойдет, если он захочет уйти [6, 7]. Шоко Асахара считал, что люди с «гнилыми сердцами» должны умереть, и использовал эту логику для оправдания жестокого убийства Цуцуми Сакамото, его жены и 14-месячного ребенка за работу над делами пострадавших от деятельности «Аум Синрикё» [6, 7]. Другой пример касается бывшего члена «Белого братства» Сергея Овчинникова, который

описал, как они планировали убийство 92-летней женщины только потому, что ей не нравилась организация [9]. Однако они не успели осуществить этот план, так как женщина умерла естественной смертью до нападения. Он уверяет, что в других случаях «братья» приводили в исполнение свои темные планы и приказы Марии Деви Христос [9]. Еще одним важным аспектом промывания мозгов является запрет на общение с кем-либо за пределами группы, даже если это друзья или семья [3, 4, 5]. Членам также запрещалось смотреть телевизор или слушать радио для поддержания контроля [3, 4, 5]. Почти во всех подобных культах последователи должны были писать подробный отчет о своем прогрессе за день и о том, заметили ли они что-либо подозрительное [9].

Третьей формой манипуляции выступает концепция апокалиптического конца времен. Чтобы обеспечить выживание и искупить предполагаемые грехи, люди были готовы добровольно уходить под землю, подобно последователям Кузнецова, или участвовать в актах насилия против невинных людей, подобно последователям Сёко Асахары, Марии Деви Христос и Адольфо Констанцо. Секты также обладали значительными средствами для продвижения себя в позитивном свете. Те, кто присоединялся к «Аум Синрикё», обязаны были подписывать документы и передавать все имущество секте, что позволяло генерировать достаточные средства для выпуска аниме, инвестирования миллионов долларов в рекламу, аренды вертолета, прохождения курсов военной подготовки и даже разработки биологического оружия, стоившей 50 миллионов долларов [3, 4, 5]. «Белое братство» в основном принимало пожертвования; тапу члены продавали свое имущество и присоединялись к группе. Однако этих средств было недостаточно, и существует теория, что «Белое братство» поддерживало кооперативные отношения с «Аум Синрикё» и получало финансовую поддержку от этой организации [3, 4, 5]. Также существуют спекуляции, что это сотрудничество было операцией правительственных чиновников, которая проводилась под руководством Петра Кривоногова [17]. Адольфо Констанцо получал средства от незаконного оборота наркотиков и предсказывал благоприятные рыночные условия для крупных торговцев наркотиками, зарабатывая на этом существенные проценты [13]. С другой стороны, Кузнецов не требовал значительных

средств. У него было два основных спонсора – Виталий Недогон и богатая дама из Москвы. Кузнецов использовал часть денег, чтобы построить дом для своей матери [6, 7].

В качестве примера жертва секты «Появление ангела» Эмили Хадсон говорит: «Я никогда не думала о побеге. Я боялась его. Что, если он найдет меня? Убьет ли он мою сестру, мою мать или меня? Самоубийство казалось единственным решением. Но что, если он был прав? Что, если я действительно никчемная? Эти мысли сопровождают меня с 10 лет» [3, 4, 5].

Заключение (выводы)

В заключение, данное исследование изучило, как самопровозглашенные духовные лидеры манипулируют своими последователями ради личной выгоды. Утверждается, что эти лидеры, такие как Шоко Асахара, Мария Деви Христос, Петр Кузнецов и Адольфо Констанцо, эксплуатируют психологические слабости, страхи и социальную изоляцию для поддержания контроля над своими последователями. Посредством таких действий они могли легко манипулировать тысячами людей. Жертвы таких культов часто чувствуют себя ничтожными и находятся под ментальным давлением. Понимание этих техник манипулирования крайне важно для предотвращения их использования, обеспечивая то, чтобы религиозные убеждения и доверие не использовались для оправдания страха, контроля или насилия.

Литература

1. BBC News. Last Aum cult fugitive Katsuya Takahashi arrested in Japan // BBC News. – 2012. – June 15. – URL: <https://www.bbc.com/news/world-asia-18453996>.
2. BBC News. Aum Shinrikyo: The Japanese cult behind the Tokyo Sarin attack // BBC News. – 2018. – July 6. – URL: <https://www.bbc.com/news/world-asia-35975069>.
3. Chernichkina M. Shoko Asahara: The man who terrorized Japan [Video] // YouTube. – 2021. – October 10. – URL: <https://youtu.be/RAfcWQAU13A>.
4. Chernichkina M. White Brotherhood: Fraudsters behind the mask of righteous men or a project of the State Security Committee? [Video] // YouTube. – 2021. – November 14. – URL: <https://youtu.be/stOrVQRYKOY>.
5. Chernichkina M. Sect angel appearance: Broken destinies, destroyed families and God's providence [Video] // YouTube. – 2021. – September 16. – URL: <https://youtu.be/ONwxCE-0xhA>.
6. Chernichkina M. Apocalypse in Russian: The story of the Penza recluses [Video] // YouTube. – 2022. – January 1. – URL: <https://youtu.be/EJ7E4h57g0g>.
7. Chernichkina M. The story that inspired True Detective: Adolfo Constanzo [Video] // YouTube. – 2022. – December 15. – URL: <https://youtu.be/dQhNspKV9Ao>.
8. Dimuro G. How Adolfo Constanzo went from Catholic boy to drug kingpin – then to satanic cult-leading serial killer // All That's Interesting. – 2018. – May 16. – URL: <https://allthatsinteresting.com/adolfo-constanzo>.
9. Hvatova Y. "I am dead to my family." Former member of the "White Brotherhood" about life in the sect // Argumenty i Fakty. – 2015. – November 10. – URL: https://aif.ru/society/people/dlya_rodnyh_ya_umer_byvshiy_uchastnik_belogo_bratstva_-_o_zhizni_v_sekte.
10. Kojiro H. Reconsidering Japanese religious history: The Aum incident and blind culture in modern Japan // Journal of Japanese Studies. – 2003. – Vol. 10, No. 3. – URL: <https://quod.lib.umich.edu/j/jii/4750978.0010.301>.
11. Our City Dnieper. "White Brotherhood" and the Apocalypse: How a totalitarian sect formed in Dnepr in the 90s // Nashe Misto. – 2024. – September 29. – URL: <https://nashe-misto.dp.ua/ru/2024/09/23/beloe-bratstvo-i-apokalipsis-kak-v-dnepre-v-90-h-sformirovalas-totalitarnaja-sekta/>.
12. Pendleton M. Going underground with Murakami Haruki: Storytelling, oral history and "the Japanese psyche" after Tokyo subway sarin attack // Cairn.info. – 2019. – URL: https://shs.cairn.info/article/E_ETHN_191_0141/pdf?lang=en.
13. Rosemary G. Adolfo Constanzo and his bizarre cult, the Narcosatanists // The Vintage News. – 2022. – June 21. – URL: <https://www.thevintagenews.com/2022/06/21/godfather-narcosatanists/>.
14. The First Channel. All Penza recluses left the cave, bodies of two dead were found underground // The First Channel. – 2008. – May 16. – URL: https://www.1tv.ru/news/2008-05-16/189314-vse_penzenskie_zatvorniki_pokinuli_pescheru_pod_zemley_obnaruzheny_tela_dvoih_pogibshih.
15. The First Channel. One of the most scandalous sects of the early 90s, the White Brotherhood, is coming back to life // The First Channel. – 2013. – November 20. – URL:

https://www.1tv.ru/news/2013-11-20/54231-odna_iz_samyh_skandal-nyh_sekt_nachala_90_h_belo_bratstvo_vozvrashaetsya_k_zhizni.

16. The Mainichi. Woman bedridden since AUM cult's 1995 sarin gas attack on Tokyo subway dies at 56 // The Mainichi. – 2020. – March 20. –

URL: <https://mainichi.jp/english/articles/20200320/p2a/00m/0na/015000c>.

17. Visiting Gordon. Ex-Prosecutor General Shokin: Shot-on Maidan, Poroshenko's betrayal, mercury poisoning, Biden [Video] // YouTube. – 2020. – March 24. – URL: <https://youtu.be/KK-EKnbB4ic>.

ABDUPATAEVA Zinatoï

Student, American University of Central Asia, Kyrgyzstan, Bishkek

THE SCAMMERS UNDER THE MASK OF PREACHERS

Abstract. *This study investigates the cases of the scammers under the mask of preachers. Religion plays a crucial role in human life by providing meaning, comfort, and ethical frameworks. Faith mostly gives hope and makes communities with other people who share your ideas. However, it is hard to find the right and true religion or community for yourself. There are some individuals who want to use faith, hope, grief and trust of people in their own interests. The scope of this work includes historical and psychological context, the reviews of policy documents, analysis of news and videos from different religious perspectives to compare and understand the true intentions of the cult leaders and their followers.*

Keywords: *religious scammers, preachers, psychological manipulation, totalitarian sects, Aum Shinrikyo, White Brotherhood, cults, apocalypse.*

ШЕСТАКОВА Александра Александровна

магистрантка, Алтайский государственный университет, Россия, г. Барнаул

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ДЕСТИГМАТИЗАЦИИ ПРОФЕССИИ СИДЕЛКИ В КОММЕРЧЕСКОМ ПАНСИОНАТЕ

Аннотация. В статье на эмпирическом материале анализируется проблема стигматизации профессии сиделки в коммерческих пансионатах для пожилых. Автор показывает, что институциональные барьеры действуют одновременно на макро-, мезо- и микроуровнях, взаимно усиливая друг друга. Предлагается комплексная модель дестигматизации, включающая нормативно-правовые, организационные и социально-психологические механизмы. Разработанные рекомендации апробированы в филиале сети пансионатов «Южный» в г. Барнауле (Алтайский край).

Ключевые слова: институциональные барьеры, дестигматизация, профессия сиделки, коммерческий пансионат, долговременный уход, кадровый дефицит, интернализованная стигма.

Введение

Россия вступила в фазу устойчивого демографического старения. Согласно данным Росстата, численность населения в возрасте 65 лет и старше увеличилась с 14,6 млн человек в 1990 году до 25,8 млн человек на начало 2025 года, а их доля выросла с 9,9% до 17,7% [1]. По прогнозам ООН, к 2030 году этот показатель достигнет 28 млн, а к 2050 году приблизится к 32,5 млн [2]. Потребность в долговременном уходе будет неуклонно расти. Ответом на дефицит государственных учреждений стало активное развитие частных пансионатов, однако коммерциализация не решает проблему статуса профессии сиделки. Работа сиделки продолжает восприниматься как «непрестижная», «грязная» и «женская», что порождает кадровый дефицит и высокую текучесть.

Цель настоящей статьи – на основе эмпирического исследования выявить институциональные барьеры, формирующие стигматизацию профессии сиделки, и предложить комплексную модель её дестигматизации на примере коммерческого пансионата.

Материалы и методы исследования

Теоретическую базу составили институциональная теория Д. Норта [3], концепция «грязной работы» Э. Хьюза [4] и теория стигмы Э. Гоффмана [5]. Эмпирическое исследование проводилось в 2025–2026 гг. на базе филиала ООО «Пансионат Южный» в г. Барнауле (Алтайский край). Применён комплекс качественных методов: полуструктурированное глубинное интервью (N=25: 15 сиделок, 5 представителей

администрации, 5 родственников пациентов), включенное наблюдение (60 часов) и анализ внутренних документов организации (должностные инструкции, штатное расписание, приказы о премировании).

Результаты исследования

В ходе исследования были выявлены и классифицированы институциональные барьеры по четырём типам.

Нормативно-правовые барьеры. Только 26,7% опрошенных сиделок имеют профессиональное образование по профилю. 73,3% прошли краткосрочное обучение (3–14 дней) на рабочем месте. 86,6% оценивают свою правовую защищённость как низкую или нулевую. 73% выполняют медицинские манипуляции сверх должностных обязанностей (измерение давления, уколы).

Экономические барьеры. Средний доход сиделки составляет 42500 рублей (денежная часть). 80% респондентов не удовлетворены оплатой, считая её неадекватной нагрузке (192–240 часов в месяц). Стоимость услуг пансионата для клиентов – от 54000 до 57000 руб./мес., что создаёт разрыв между высокой ценой и низким символическим признанием труда сиделок.

Организационные барьеры. Текучесть кадров достигает 67% в год. 87% сиделок работают по графику «сутки через трое». 67% не информированы о существующей карьерной лестнице. Системные практики признания отсутствуют (0% администраторов отметили их наличие).

Социокультурные и символические барьеры. 87% сиделок используют эвфемизмы вместо «я сиделка» («помогаю по уходу», «работаю в пансионате»). 67% скрывают место работы от знакомых. 80% родственников используют обращение «девочки», воспринимая его как норму. 100% опрошенных считают профессию «женской».

Барьеры действуют одновременно на трёх уровнях, взаимно усиливая друг друга. На макроуровне (государство) – отсутствие обязательной сертификации и отраслевых тарифных соглашений. На мезоуровне (организация) – высокая текучесть, 24-часовые смены, отсутствие практик признания. На микроуровне (межличностные взаимодействия) – патронатные обращения, интернализованная стигма, институт недоверия (60% родственников контролируют работу сиделок).

Комплексная модель дестигматизации

На основе полученных данных и обобщения зарубежного опыта (Германия, Скандинавия, Япония) предложена комплексная модель дестигматизации, включающая преобразования на всех трёх уровнях.

Макроуровень (государство):

- введение обязательной сертификации сиделок;
- разработка отраслевых тарифных соглашений;
- государственные информационные кампании по повышению престижа профессии;
- изменение официальной номинации должности на «специалист по долговременному уходу».

Мезоуровень (администрация пансионата):

- внедрение карьерной лестницы (сиделка → старшая сиделка → администратор) с доплатами от 15% до 80%;
- систематические практики признания (доска почёта, конкурс «Сиделка месяца», «Час признания»);
- автоматизация документооборота (мобильное приложение для электронного дневника ухода);
- включение в программы обучения модуля по профессиональному языку.

Микроуровень (психологи, старшие сиделки):

- регулярные группы поддержки (супервизии);

- тренинги по работе с интернализованной стигмой;
- ритуалы признания в повседневной практике;
- Кодекс этики взаимодействия с родственниками (запрет на обращение «девочки»).

Ожидаемая эффективность

По оценкам администрации пансионата, внедрение предложенной модели позволит:

- снизить текучесть кадров на 22–27 п.п. (с 67% до 40–45%);
- снизить долю сиделок, скрывающих место работы, на 27–32 п.п.;
- снизить использование обращения «девочки» со стороны родственников на 35–40 п.п.

Заключение

Проведённое исследование доказало, что стигматизация профессии сиделки в коммерческом пансионате – сложный многоуровневый феномен, не устранимый локальными HR-мероприятиями. Предложенная комплексная модель дестигматизации уже получила одобрение администрации ООО «Пансионат Южный» и принята к внедрению в барнаульском филиале в качестве пилотного проекта. Результаты работы могут быть использованы Министерством социальной защиты Алтайского края, коммерческими пансионатами и некоммерческими организациями для повышения статуса профессии сиделки и снижения кадрового дефицита в сфере долговременного ухода.

Литература

1. Росстат. Численность населения Российской Федерации по полу и возрасту на 1 января 2025 года: статистический бюллетень. – М.: Росстат, 2025. – 98 с.
2. Прогноз численности населения мира (World Population Prospects 2024). – Нью-Йорк: Организация Объединённых Наций, Департамент по экономическим и социальным вопросам, 2024. – 287 с.
3. North D.C. Institutions, Institutional Change and Economic Performance. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 152 p.
4. Hughes E.C. The Sociological Eye: Selected Papers. New Brunswick: Transaction Books, 1971. 584 p.
5. Goffman E. Stigma: Notes on the Management of Spoiled Identity. New York: Simon & Schuster, 1986. 147 p.

6. Олейник А.Н. Институциональные барьеры и механизмы их преодоления в переходной экономике // Вопросы экономики. 2000. № 12. С. 33-45.

7. Парамонова О.А. Профессия сиделки в России: между стигмой и

профессионализацией // Социологический журнал. 2019. Т. 25. № 2. С. 84-101.

8. Официальный сайт ООО «Пансионат Южный» [Электронный ресурс]. URL: <https://yuzhny-pansionat.ru/> (дата обращения: 15.03.2026).

SHESTAKOVA Alexandra Alexandrovna

Graduate Student, Altai State University, Russia, Barnaul

A COMPREHENSIVE MODEL OF THE DESTIGMATIZATION OF THE NURSING PROFESSION IN A COMMERCIAL BOARDING HOUSE

Abstract. *The article analyzes the problem of stigmatization of the profession of a nurse in commercial boarding houses for the elderly based on empirical material. The author shows that institutional barriers act simultaneously at the macro, meso and micro levels, mutually reinforcing each other. A comprehensive model of destigmatization is proposed, including regulatory, organizational, and socio-psychological mechanisms. The developed recommendations have been tested in the branch of the Yuzhny boarding house chain in Barnaul (Altai Territory).*

Keywords: *institutional barriers, destigmatization, nursing profession, commercial boarding house, long-term care, staff shortage, internalized stigma.*

Актуальные исследования

Международный научный журнал

2026 • № 25 (311)

Часть I

ISSN 2713-1513

Подготовка оригинал-макета: Орлова М.Г.

Подготовка обложки: Ткачева Е.П.

Учредитель и издатель: ООО «Агентство перспективных научных исследований»

Адрес редакции: 308000, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135

Email: info@apni.ru

Сайт: <https://apni.ru/>

Отпечатано в ООО «ЭПИЦЕНТР».

Номер подписан в печать 23.06.2026г. Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

308010, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135, офис 40