

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

ISSN 2072-0297

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



5 2026
ЧАСТЬ I

16+

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 5 (608) / 2026

Издается с декабря 2008 г.

Выходит еженедельно

Главный редактор: Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

Редакционная коллегия:

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, доктор педагогических наук (Узбекистан)
Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук
Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук
Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук
Абдрасилов Турганбай Курманбаевич, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)
Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук
Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук (Казахстан)
Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук (Азербайджан)
Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук
Бердиев Эргаш Абдуллаевич, кандидат медицинских наук (Узбекистан)
Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук
Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук
Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук
Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук
Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук
Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук
Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения
Искаков Руслан Маратбекович, кандидат технических наук (Казахстан)
Калдыбай Кайнар Калдыбайулы, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)
Кенесов Асхат Алмасович, кандидат политических наук
Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук
Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук
Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук
Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)
Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук
Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук
Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук
Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук
Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук
Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук
Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук
Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук (Казахстан)
Паридинова Ботагоз Жаппаровна, магистр философии (Казахстан)
Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук
Рахмонов Азизхон Боситхонович, доктор педагогических наук (Узбекистан)
Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук
Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук
Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук
Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)
Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук
Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры
Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук (Узбекистан)
Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук
Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

Международный редакционный совет:

Айрян Заруи Геворковна, кандидат филологических наук, доцент (Армения)
Арошидзе Паата Леонидович, доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)
Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор (Россия)
Ахмеденов Кажмурат Максutowич, кандидат географических наук, ассоциированный профессор (Казахстан)
Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (Россия)
Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)
Буриев Хасан Чутбаевич, доктор биологических наук, профессор (Узбекистан)
Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)
Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)
Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)
Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)
Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Досманбетов Динар Бакбергенович, доктор философии (PhD), проректор по развитию и экономическим вопросам (Казахстан)
Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)
Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)
Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)
Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, доктор педагогических наук, и.о. профессора, декан (Узбекистан)
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)
Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)
Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Кыят Эмине Лейла, доктор экономических наук (Турция)
Лю Цзюань, доктор филологических наук, профессор (Китай)
Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)
Нагервадзе Марина Алиевна, доктор биологических наук, профессор (Грузия)
Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)
Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Прокофьева Марина Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)
Рахматуллин Рафаэль Юсупович, доктор философских наук, профессор (Россия)
Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)
Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)
Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)
Узаков Гулом Норбоевич, доктор технических наук, доцент (Узбекистан)
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры (Россия)
Хоналиев Назарали Хоналиевич, доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)
Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)
Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)
Шуклина Зинаида Николаевна, доктор экономических наук (Россия)

На обложке изображен *Бертран Рассел* (1872–1970), британский философ, логик, математик и общественный деятель.

Лорд Бертран Артур Уильям, третий граф Рассел, родился в графстве Монмутшир (Уэльс). Уже к своему четвертому дню рождения он остался полным сиротой. После смерти родителей мальчика, его старшего брата Фрэнка и сестру Рэйчел взяла на попечение их бабушка — графиня Рассел. Бабушка была достаточно строгой и серьезной леди и бездельничать внукам не давала. К пятнадцати годам будущий философ уже свободно знал немецкий и французский языки. Мальчик увлекался естественной историей, античной философией и математикой.

В 1889 году Бертран Рассел поступил в Тринити-колледж Кембриджского университета. Уже на втором году обучения ему была оказана высокая честь: математик и философ Альфред Уайтхед предложил принять юного Рассела в дискуссионное общество «Апостолы». В этом обществе Рассел сдружился с Джорджем Эдвардом Муром, который стал его ближайшим другом на много лет.

Дед Бертрана — лорд Джон Рассел — в юности встречался с Наполеоном, а потом был и министром внутренних дел, и премьером. Таким образом его внуку была обеспечена прекрасная карьера, во всяком случае ее начало. Бертран начал дипломатическую работу в Париже, затем его перевели в Берлин. Там он не только работал в посольстве, но и изучал немецкую философию. Молодой человек приступил к изучению трудов Маркса, общался с лидерами социалистов и в 1896 году издал ставшую классической книгу: «Германская социал-демократия». После ее выхода в свет он стал знаменитым.

В Англии и США его пригласили читать курс лекций, а в 1900 году он участвовал во Всемирном философском конгрессе в Париже. Его увлечение марксизмом, казалось, приведет его как минимум в ряды радикальных социалистов. Но, отдавая должное социалистическим идеям, Рассел был категорически против государственного контроля над общественным производством. Он вообще считал государственные машины и произвол чиновников причиной большинства бед человечества.

Когда началась Первая мировая война, Рассел немедленно вступил в организацию «Противодействие призыву на военную службу». Он анонимно издал листовку «Два года тяжелой работы для отказывающихся повиноваться велению совести». В ней он выступил в защиту права человека отказаться от воинской повинности. Руководство Тринити-колледжа, где он уже был преподавателем, вынуждено было уволить его. Он продолжил бороться за право отказываться от призыва по религиозным

и политическим мотивам и написал в «Таймс» статью, основная мысль которой звучала неделикатно: «Политическая свобода в Великобритании обернулась фарсом». Его оштрафовали на сто фунтов стерлингов, конфисковали библиотеку, и закончилось это в 1918 году заключением в Брикстонскую тюрьму на шесть месяцев. За решеткой он написал «Введение в философию математики».

В мае 1920 года Бертран Рассел отправился в составе лейбористской делегации в Россию, где провел месяц. «Лорд-большевик» встретился с Троцким, с Горьким, поэтом Александром Блоком, выступил с лекцией в Петроградском математическом обществе. И конечно, около часа беседовал с Лениным. В ходе бесед с Лениным Бертран Рассел отметил его ограниченность и узколобое понимание марксистской ортодоксии, озлобленность и жесткость. Результатом этой поездки стали книги «Практика и теория большевизма» и «Большевизм и Запад».

Бертран Рассел путешествовал по миру, читая лекции в Америке, Китае и Европе. В Кембридже в 1945 году вышла книга «О человеческом познании. Его сферы и границы», в которой Бертран Рассел доступно изложил основные философские принципы естественных наук.

В период Второй мировой войны Рассел отказался от пацифизма и издал две фундаментальные работы: «Исследование значения и истины» и «История западной философии». При этом он не прекращал активно бороться за мир: в 1950–60-е годы выступал против ядерного оружия и за участие в антивоенных акциях снова оказался в тюрьме.

В следующие годы Рассел усиленно изучал педагогику, включая новаторские методы образования. Он написал книги «Об образовании», «Образование и общественный строй».

Еще во время учения в Кембридже Бертран Рассел близко познакомился с Элис Смит, происходившей из рода филаделфийских квакеров. Интересно отметить, что Бертран Рассел был официально женат четыре раза, не считая многочисленных романов с поклонницами его таланта. Свои взгляды на супружеские отношения Бертран Рассел изложил в книге «Брак и нравственность», за которую в 1950 году получил Нобелевскую премию по литературе.

До конца жизни Рассел отстаивал свои идеи и выпустил несколько десятков книг. Последними его книгами стали «Портреты по памяти», «Факт и вымысел», третий том «Автобиографии». Умер Рассел 2 февраля 1970 года от гриппа, прожив почти столетие.

Информацию собрала ответственный редактор
Екатерина Осянина

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Бакир Т. А.

Актуальность фиттинговых платформ
в условиях цифровизации бизнеса 1

Баланев К. С.

Имитационное моделирование
компьютерного сетевого трафика на основе
системы распределений Пирсона 2

Кононенко А. А.

Эргономика цифрового творчества:
сравнительный анализ пользовательских
интерфейсов Krita и GIMP с позиции
когнитивной нагрузки 9

Шатаров К. А.

Прогноз солнечной радиации на основе
нейросетевых моделей и открытых
метеоданных open-meteo для оптимизации
генерации солнечной энергетики 15

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Балакин М. А., Петров Н. В., Осауленко Л. К.

Обеспечение чистоты производства
космических аппаратов как ключевой
фактор надёжности и безопасности 19

Дорошева С. А., Терентьев С. В.

Методика расчета порога обнаружения
при ограниченной размерности текущих
данных 21

Кулик С. С.

Особенности унификации наземного
технологического оборудования
универсального наземного технологического
комплекса 14п510 подготовки
перспективных космических аппаратов
разработки АО «Решетнёв» 25

Лакомова К. Е.

Терминология в профессиональной
деятельности (на примере специальности
«Технология продуктов питания
из растительного сырья») 28

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

Жылкаманов А. А.

Принципы преобразования городского
пространства для минимизации негативных
последствий стихийных бедствий 30

Исправников С. Б.

Современные технологии устройства
вентилируемого фасада 33

Клячев Н. М.

Внедрение цифровых технологий
информационного моделирования
для прогнозирования износа
промышленных полов 37

Клячев Н. М.

Сравнение современных технологий
устройства силового пола промышленного
здания по критериям «долговечность»
и «стоимость» 39

Сапакова К. Г.

Пространственные особенности развития
субурбии города Алматы в условиях
агломерационного роста 40

ГЕОЛОГИЯ

Qasem M. M. S.

Enhanced oil recovery using low salinity water
in carbonate rocks 43

Mukhtarova K. Z., Agazade Z. K.

Tectonic development and oil and gas
prospects of the Bandovan field 47

Nada A. M. O. M.

Numerical simulation of hydrodynamic
processes to ensure effective hole cleaning
in extended reach drilling wells 51

ЭКОЛОГИЯ

Калинников В. В.

Валидация метода виртуальных гидропостов
для оценки изменения уровня воды в малых
реках 55

Рудковская А. Е., Шмиткова С. А.

Определение эффективности
комбинированных методов очистки воды
от ионов железа.....59

ИСКУССТВОВЕДЕНИЕ

Артеменко А. И.

«Царство Флоры»: поэзия метаморфоз
в живописи Пуссена64

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Актуальность фиттинговых платформ в условиях цифровизации бизнеса

Бакир Толеген Амирханулы, студент магистратуры
Maqsut Narikbayev University (г. Астана, Казахстан)

В статье рассматривается роль фиттинговых платформ как ключевого инструмента цифровой трансформации современного ритейла и логистики. В условиях 2026 года, когда персонализация и омниканальность стали стандартами бизнеса, платформы для виртуальной примерки и точного подбора параметров (фиттинга) позволяют радикально снизить операционные издержки и повысить лояльность потребителей. Автор анализирует технологические тренды, такие как интеграция генеративного ИИ и 3D-моделирования, и обосновывает экономическую эффективность внедрения данных решений.

Ключевые слова: фиттинговые платформы, цифровизация бизнеса, виртуальная примерка, e-commerce, искусственный интеллект, клиентский опыт, цифровая трансформация.

В 2026 году цифровизация бизнеса достигла стадии зрелости, когда ключевым конкурентным преимуществом становится не наличие онлайн-канала продаж, а качество цифрового взаимодействия с клиентом. Одной из наиболее критических проблем сектора e-commerce остается высокая доля возвратов, которая в сегменте fashion-ритейла исторически колебалась в пределах 30–50 %. Актуальность фиттинговых платформ сегодня продиктована необходимостью радикального снижения этих издержек и персонализации предложения. Как подчеркивают эксперты, развитие цифровых платформ в 2026 году определяется «встраиванием искусственного интеллекта в самую инфраструктуру бизнеса» [1].

Технологическая парадигма фиттинга 2026

Современные фиттинговые платформы базируются на синергии нескольких прорывных технологий. Во-первых, это мультиагентные системы ИИ, которые не просто анализируют введенные данные, а выступают в роли цифровых ассистентов, способных прогнозировать посадку изделия с учетом эластичности конкретной ткани

[4]. Во-вторых, это технологии физического ИИ, позволяющие моделировать взаимодействие 3D-объектов с телом человека в реальном времени.

Согласно аналитическому обзору «Будущее цифровых платформ: тренды 2026 года», ключевым фактором успеха становится использование ИИ не как отдельной функции, а как стандарта платформы для «прогнозной аналитики и поддержки принятия управленческих решений» [1]. Это позволяет бизнесу перейти от реактивной модели (обработка возврата) к превентивной (точный подбор).

Экономическое обоснование и бизнес-метрики

Эффективность внедрения фиттинг-решений подтверждается ростом операционных показателей. В условиях дефицита вычислительных мощностей и роста стоимости логистики, оптимизация «последней мили» через сокращение возвратов становится жизненно важной. Исследования показывают, что использование ИИ-агентов в продажах позволяет экономить значительные ресурсы, при этом данные о предпочтениях клиентов в CRM всегда остаются актуальными [5].

Таблица 1. Сравнение бизнес-моделей до и после внедрения фиттинговых платформ

Параметр	Традиционная модель (2024)	Платформенная модель (2026)
Конверсия (Conversion Rate)	2.1 %	6.5 %
Уровень возвратов (Return Rate)	38 %	14 %
Время нахождения на сайте	5.2 мин	12.8 мин

Дополнительным фактором актуальности является «агентский ренессанс» — ситуация, когда ИИ-агенты пользователей взаимодействуют с ИИ-агентами магазинов. Фиттинговая платформа в данном случае выступает доверенным слоем данных (Data Layer), предоставляя параметры цифрового двойника покупателя [3].

Психология потребления в цифровой среде

Цифровизация изменила паттерны поведения: современный покупатель в 2026 году ожидает мгновенного результата. Фиттинговые платформы снижают «когнитивное трение» — стресс, связанный с риском получить неподходящую вещь. Внедрение AR-зеркал и виртуальных примерочных повышает уровень доверия к бренду, превращая

процесс покупки в геймифицированный опыт. В публикациях П. П. Петрова отмечается, что «технологии виртуальной примерки создают эффект владения товаром еще до его оплаты, что психологически закрепляет решение о покупке» [4].

Фиттинговые платформы в условиях 2026 года являются не факультативным инструментом, а необходимым условием выживания в высококонкурентной цифровой среде. Они объединяют в себе интересы бизнеса (снижение издержек, рост чека) и потребности клиента (точность, скорость, удобство). Дальнейшее развитие таких систем будет неразрывно связано с совершенствованием предметно-специфических языковых моделей (DSLМ) и глубокой интеграцией в корпоративные ITSM-системы.

Литература:

1. Будущее цифровых платформ: тренды 2026 года // Российская ITSM-система ITIL+ — 24.12.2025. — URL: <https://itil-plus.ru/blog/upravlenie-it-aktivami/budushchee-tsifrovyykh-platform-trendy-2026-goda/>
2. Главные российские IT-тренды 2026 года: исследование ВШБ ВШЭ // Высшая школа бизнеса НИУ ВШЭ — 18.11.2025. — URL: <https://gsb.hse.ru/news/1102888721.html>
3. Петров, П. П. Искусственный интеллект в логистике и торговле: от алгоритмов к агентам / П. П. Петров // Вестник цифровой экономики. — 2025. — Т. 12, № 2. — С. 45–56.
4. IT-бюджет 2026: главные тренды автоматизации и AI // Direkt Ink — 20.11.2025. — URL: <https://direkt.ink/blog/business/>

Имитационное моделирование компьютерного сетевого трафика на основе системы распределений Пирсона

Баланев Кирилл Сергеевич, аспирант
Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Москва)

В статье предложен метод имитационного моделирования сетевого трафика многомашинных вычислительных систем, основанный на использовании системы распределений Пирсона. Результаты статистического моделирования показали, что отклонения между оценками математического ожидания, дисперсии, коэффициентов асимметрии и эксцесса сгенерированных и реальных последовательностей сетевых транзакций не превышают 3 % в серии из 50 независимых экспериментов. Предлагаемый метод применим для имитационного моделирования различных видов сетевого трафика с изменяющимися плотностями вероятностей в реальном масштабе времени, а также при анализе и тестировании алгоритмов балансировки потоков данных сетевого трафика многомашинных вычислительных систем.

Ключевые слова: сетевой трафик, распределения Пирсона, моделирование данных, симуляция сетей, классификация распределений, плотность вероятности.

Введение

Математическое описание характеристик сетевого трафика необходимо при разработке архитектур многомашинных вычислительных систем (МВС), а также соответствующих им алгоритмов анализа и балансировки потоков данных возникающего сетевого трафика. Сложность архитектур современных МВС, содержащих большое число взаимодействующих узлов (серверов, мэйнфреймов, ком-

муникационных пулов и т. п.), обуславливает не только значительную интенсивность сетевых транзакций, но также сильную вариативность межпакетных интервалов и, следовательно, изменение характера трафика. В результате алгоритмы обработки и балансировки потоков данных, основанные либо на предположении о стационарности и симметрии распределения транзакций, либо ориентированные на определенные типы приложений, оказываются неэффективными в условиях пульсирующего

и изменяющегося характера сетевого трафика. Таким образом, возникает необходимость в создании математических моделей сетевого трафика МВС, учитывающих различные формы, асимметрию, эксцесс, «тяжелые хвосты» его распределений [1–3].

Действительно, например, модель Пуассона [4] фактически определяет МВС как систему массового обслуживания, где транзакции формируют поток пакетов (заявок), интервал поступления между которыми подчиняется экспоненциальному закону распределения с известной (заданной) интенсивностью. Логическим продолжением такого подхода можно считать модель On/Off [5], когда выделяются активное и пассивное состояния источника трафика. Такая модель представляет собой одноканальную систему массового обслуживания с двумя состояниями, причем вероятности переходов из активного состояния в пассивное состояние и наоборот также подчиняются экспоненциальному закону распределения с известными интенсивностями. Очевидно, такие модели не могут отразить пульсации трафика, хотя находят свое применение в видеотелефонии при условии стационарности процессов в МВС.

Известны работы [4–6], в которых предлагаются различные стохастические модели, описывающие специфические виды поведения сетевого трафика. Например, авторегрессионная (autoregressive — AR) модель n -го порядка AR(n) представляет трафик как статистическую линейную модель временного ряда, при которой текущее значение числа транзакций зависит от n предыдущих значений и случайного отклонения (ошибки). Модель AR подходит для относительно «спокойного» трафика (например, телетрафика с видеоданными), когда наблюдается сильная корреляция между пакетами в n моментах времени. Добавление к модели AR модели скользящего среднего (Moving Average — MA) для сглаживания отклонений определяет модель с авторегрессионным скользящим средним ARMA (autoregressive moving average). Поскольку трафик в МВС может в ряде случаев иметь сезонный характер, то модель ARMA может успешно использоваться для прогнозирования такого трафика (например, BitTorrent [7]), а также для несанкционированных вторжений и атак [8]. Другая популярная модель с авторегрессионным интегрированным скользящим средним ARIMA (autoregressive integrated moving average) сегодня широко используется для прогнозирования трафика, оценки производительности МВС, а также аномального поведения трафика (например, DDoS-атаки) [4–6].

Модели на основе цепей Маркова, особенно т. н. «скрытые» Марковские модели, могут использоваться для формирования различных типов трафика с поддержкой различных протоколов (HTTP, FTP, SMTP, SSH, Gnutella, BitTorrent и eDonkey). Наиболее известной моделью из данного класса моделей является пуассоновский процесс с Марковской модуляцией его интенсивности (Markov Modulated Poisson Process — MMPP), то есть представляет собой результат агрегирования нескольких

пуассоновских потоков с одинаковой интенсивностью, где активные состояния определяются схемой «гибели-размножения». Поскольку условие стационарности пуассоновских потоков данных в МВС не выполняется, то модель MMPP инициализируется набором оценок параметров, которые являются случайными величинами, что влияет на качество верификации и параметризации сетевого трафика.

В ряде работ (например, [8]) было показано, что пакеты, которые формально передаются независимо, при их перемещении в компьютерных сетях, в том числе и в МВС, формируют потоки, представляющие самоподобные процессы, степень самоподобия которых оценивается с помощью параметра Херста. Самоподобные процессы характеризуются распределениями с «тяжелыми хвостами» и медленно убывающей автокорреляционной функцией. Такие распределения достаточно хорошо описываются моделями Парето и Вейбулла. Моделирование самоподобных процессов возможно также с помощью вышерассмотренных моделей временных рядов AR, ARMA, ARIMA. Для моделирования самоподобного трафика отдельно выделяют класс фрактальных моделей, к которому относят фрактальное броуновское движение, фрактальный гауссовский шум, фрактальную модель ARIMA, фрактальный On/Off процесс и фрактальный процесс восстановления. Фрактальные модели трафика можно использовать для анализа явления его пульсации (Burstiness), а также для обнаружения DDoS-атак или перегрузок в МВС. К сожалению, количество используемых пакетов, необходимое для функционирования фрактальной модели в реальном масштабе времени, ограничено, что приводит к неправильным решениям относительно характера поведения трафика и ошибкам прогнозирования.

Отдельно следует отметить использование нейронных сетей, в частности, рекуррентных нейронных сетей (recurrent neural network), которые теоретически могут обнаруживать аномальное поведение, например, резкое увеличение числа транзакций в МВС, вызванное атакой, идентифицировать типы атак, а также моделировать сложные комбинации различных событий в МВС. К сожалению, только применение многослойных нейронных сетей позволит успешно решить задачу моделирования сетевого трафика, что, в свою очередь, сталкивается с необходимостью иметь полные и репрезентативные датасеты для обучения и забирать относительно много вычислительных ресурсов [2].

Таким образом, из вышеприведенного краткого обзора следует, что каждая из рассмотренных моделей может быть применима в строго определенных условиях, при этом для ее адекватной работы требуется предварительная настройка параметров, отражающих интенсивность, длительность активных состояний, вероятности переходов и другие особенности конкретного сетевого трафика. В результате с практической точки зрения возникает задача разработки универсального метода моделирования сетевого трафика, который допускает воспро-

изведение различных видов поведения трафика в рамках одного алгоритмического решения.

Предлагаемый в статье метод использует систему распределений Пирсона, которая до недавнего времени применялась в сетевых технологиях лишь фрагментарно — в основном для описания временных характеристик, таких как задержки или интервалы поступления пакетов [9]. При этом в большинстве случаев выбор конкретного типа распределения выполнялся вручную или на основе ограниченного набора статистических признаков. Описываемый ниже метод имитационного моделирования определяет тип распределения по оценкам статистических параметров наблюдаемого сетевого трафика, что позволяет автоматически идентифицировать и имитировать сетевой трафик в реальном масштабе времени.

Постановка задачи

Распределениями Пирсона называются непрерывные распределения, плотности вероятности которых являются решениями дифференциального уравнения [9]:

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{a_1 + a_0}{b_0 + 2b_1x + b_2x^2} f(x),$$

где a_0, a_1, b_1, b_2 — параметры распределения. Распределения Пирсона полностью определяются первыми четырьмя моментами.

Пусть μ_k — k -й центральный момент случайной величины, имеющей распределение Пирсона. Тогда, если $a_1 = 1$, то

$$a_0 = \frac{\mu_3(\mu_4 + 3\mu_2^2)}{A}, b_1 = -\frac{\mu_3(\mu_4 + 3\mu_2^2)}{2A},$$

$$b_0 = -\frac{\mu_2(4\mu_2\mu_4 - 3\mu_2^2)}{A}, b_2 = -\frac{2\mu_2\mu_4 - 3\mu_2^2 - 6\mu_2^3}{A},$$

где $A = 10\mu_4\mu_2 - 18\mu_2^3 - 12\mu_2^3$.

В соответствии с распределением корней квадратного трехчлена $b_0 + b_1x + b_2x^2$ различают 12 типов распределений Пирсона. При этом выбор типа распределения можно производить по знаку дискриминанта квадратного трехчлена $D = b_0b_2 - b_1^2$ и величине и знаку параметра $\lambda = \frac{b_1^2}{(b_0b_2)}$.

Пусть $X = \{x_i\}_{i=1}^N$ — конечная выборка наблюдаемых значений, представляющая сетевой трафик в виде скалярной последовательности, полученной, например, из временных интервалов между пакетами или объемов переданных данных в фиксированных интервалах времени. Требуется построить статистическую модель, обеспечивающую приближенное воспроизведение наблюдаемых характеристик с заданной точностью. Другими словами, задача сводится к моделированию случайной величины Y , распределенной по одному из типов распределений Пирсона такой, что ее все первые четыре момента совпадают с первыми четырьмя моментами для выборки.

Этап верификации и параметризации

С точки зрения процесса обучения, этап верификации и параметризации включает следующие шаги.

1. Вычисление второго, третьего и четвертого центральных моментов:

$$\mu_k = E[(X - \mu_1)^k] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_1)^k, k = 2, 3, 4.$$

где $\mu_1 = E[X]$ — оценка математического ожидания.

2. Подстановка в выражения для коэффициентов a_0, b_0, b_1, b_2 , полученных значений центральных моментов.

3. Оценка параметра λ и дискриминанта D .

4. Идентификация типа распределения на основании таблицы классификации, составленной по знаку и значениям параметра λ и знаку дискриминанта D .

Этап имитации

На этапе имитации необходимо использовать датчики случайных чисел (ДСЧ), которые генерируют последовательности псевдослучайных чисел по определенному выше закону распределения. Как известно, распределения Пирсона включают «классические» распределения (тип I — бета-распределение, тип III — гамма-распределение, тип VII — распределение Стюдента, тип X — показательное распределение, тип XI — нормальное распределение), для которых уже созданы алгоритмические и соответствующие программные решения, реализованные в различных средах моделирования (например, Matlab) и библиотеках (например, Python). Другие типы распределений требуют моделирования специализированных ДСЧ, параметры которых (в частности, длина и количество интервалов разбиения гистограмм) будут варьироваться в зависимости от вычисленных параметров функций плотности вероятности.

Оценка эффективности предложенного метода

Для оценки эффективности предложенного метода был проведен сравнительный анализ последовательностей транзакций, сформированных с использованием различных моделей сетевого трафика МВС. В качестве объектов моделирования выбраны: реальные данные конкретной МВС, авторегрессионная модель (AR), Марковский модулированный пуассоновский процесс (MMPP), модель ON-OFF, псевдогенератор MirageNet, генеративная модель PACGAN и итеративная модель NetDiffusion. Объем каждой выборки составил 256 элементов. Для получения устойчивых статистик выполнена серия из 500 экспериментов.

Имитационное моделирование проводилось в среде MATLAB, где используется встроенная функция

$$Y = \text{pearsrnd}(\mu, \sigma, \gamma_1, \gamma_2, N, 1),$$

осуществляющая непосредственную генерацию псевдослучайных чисел, распределенных по закону из се-

мейства распределений Пирсона по указанным параметрам, здесь

$$\gamma_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \quad \text{— коэффициент асимметрии,}$$

$$\gamma_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right)^4 - 3 \quad \text{— эксцесс, } \mu = \mu_1. \text{ Результиру-$$

ющая последовательность проходит фильтрацию отрицательных значений и при необходимости нормализуется. В результате для заданного набора характеристик (μ , σ , γ_1 , γ_2) создавалась псевдослучайная последова-

тельность $\{y_i\}_{i=1}^N$, обладающая аналогичными обучающей выборке статистическими свойствами.

Для оценки степени соответствия результирующей последовательности исходной выполнялось сравнение оценок статистических характеристик, построение гистограмм и временных диаграмм сигналов и вычисление относительных погрешностей:

$$\delta_\mu = \frac{\mu_Y - \mu_X}{\mu_X} \cdot 100\%, \delta_\gamma = \frac{\gamma_{1,Y} - \gamma_{1,X}}{\gamma_{1,X}} \cdot 100\%, \text{ и т. д.}$$

Результаты имитационного моделирования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Статистические характеристики и типы распределений Пирсона

Модель	μ	σ	γ_1	γ_2	Тип (баз.)	Тип (расш.)
Real	23,38	91,84	7,58	64,27	I	I
AR	1,08	0,84	1,43	4,01	VI	VI
MMPP	2,02	2,13	1,23	0,89	I	I
On–Off	27,51	22,49	0,01	–1,11	I	I
MirageNet	604,48	548,16	0,791	–0,78	I	I
PACGAN	99,47	34,55	–0,09	0,76	VI	VI
NetDiffusion	1,41	1,11	1,60	3,11	I	I

Анализ показал, что большинство источников трафика описываются распределениями типа I, что соответствует сильно асимметричным законам распределения с ограниченной или полуограниченной областью определения. Исключения составляют модели AR и PACGAN, где классификация однозначно указывает на тип VI, соответствующий экспоненциальным или квазинормальным распределениям со сдвигом.

На основе оцененных характеристик для каждой из последовательностей выполнено моделирование с использованием соответствующего распределения Пирсона. После генерации по каждой моделируемой последовательности проведен расчет характеристик и сравнение с оригиналом по относительным отклонениям. Результаты усреднены по 500 независимым прогонам и представлены в таблице 2.

Таблица 2. Относительные отклонения статистических характеристик моделируемых последовательностей от исходной

Модель	$\Delta\mu$	$\Delta\sigma$	$\Delta\gamma_1$	$\Delta\gamma_2$
Real	0,61	–3,28	–3,24	–5,30
AR	1,19	–1,86	0,41	–15,80
MMPP	0,71	–0,82	–0,55	–3,34
On–Off	–0,05	–0,17	159,88	–0,75
MirageNet	0,02	–0,20	–0,01	–2,24
PACGAN	0,16	–1,47	–128,76	–60,17
NetDiffusion	0,19	–0,03	–1,59	–5,22

В большинстве случаев отклонения по всем характеристикам не превышают $\pm 3\%$, что подтверждает способность метода воспроизводить в статистическом смысле поведение входных последовательностей. Большие значения асимметрии наблюдаются у моделей ON–OFF и PACGAN, где форма распределения близка к симметричной или периодически модулируемой, что ограничивает точность аппроксимации в рамках одной выборки фиксированной

длины. В то же время даже при таких условиях метод обеспечивает практически те же значения дисперсии и эксцесса.

На рис. 1 представлены реальные сетевые данные (Real) трафика МВС, отличающиеся нерегулярным характером с редкими, но высокоинтенсивными пиками активности. Распределение значений выражено асимметрично, а наличие значительных выбросов указывает на типичные для сетей явления перегрузки или сетевых атак.

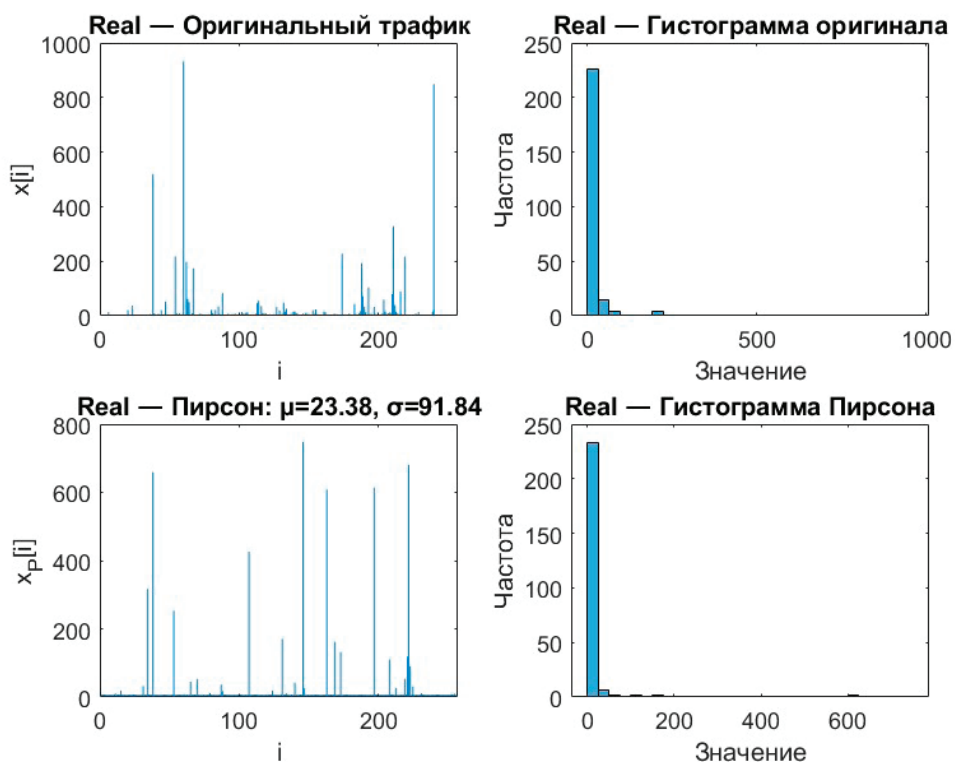


Рис. 1. Временная реализация и распределение значений реального сетевого трафика (Real) и аппроксимации распределением Пирсона

В отличие от реального трафика, модель AR (рис. 2) демонстрирует более предсказуемую структуру с постепенным снижением плотности событий. Поток характерен

более равномерным распределением активности и отсутствием резких изменений (выбросов), что типично для стационарных линейных процессов.

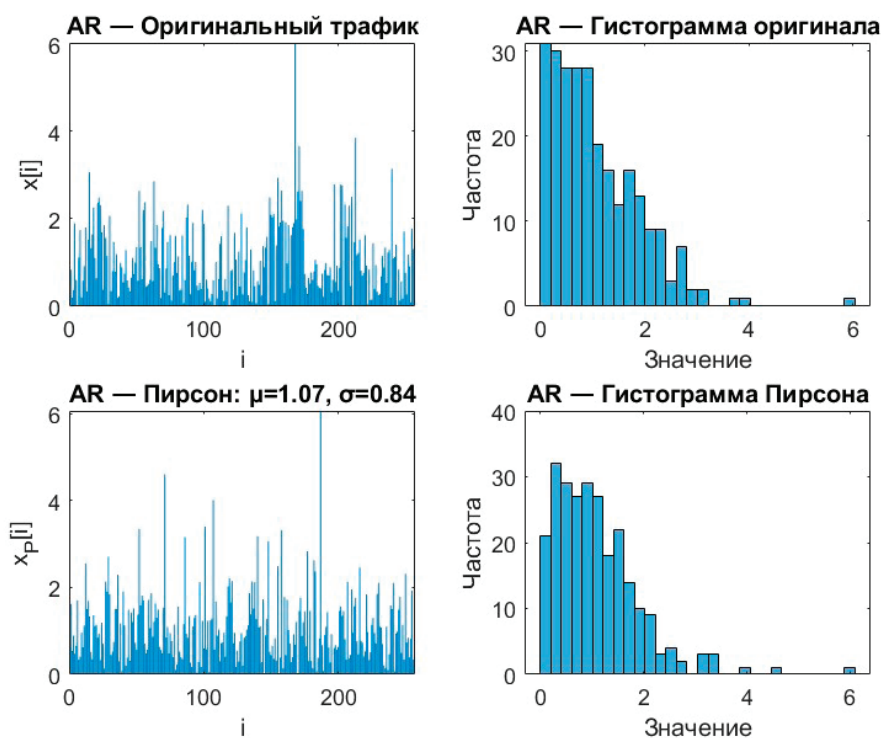


Рис. 2. Временная реализация и распределение значений трафика, сгенерированного авторегрессионной моделью (AR), и аппроксимации распределением Пирсона

Модель ММРР (рис. 3) формирует последовательность с чередованием фаз высокой и низкой нагрузки, что приводит к переменной интенсивности передачи трафика.

Такая структура отражается в асимметричном распределении с удлинённым хвостом и хорошо подходит для описания трафика, подверженного фазовым переходам.

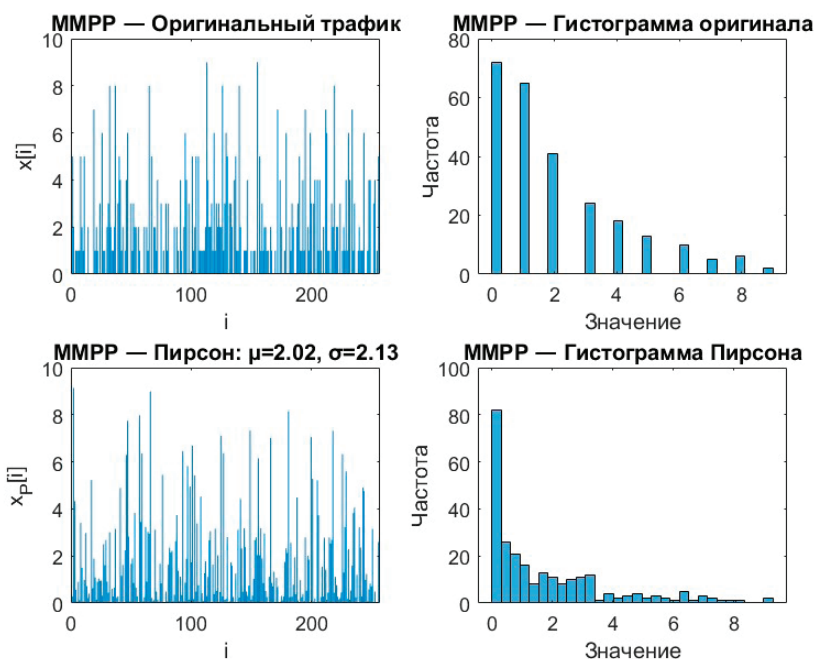


Рис. 3. Временная реализация и распределение значений трафика, сгенерированного моделью ММРР, и аппроксимации распределением Пирсона

В свою очередь, модель ON-OFF (рис. 4) генерирует дискретный поток, состоящий из чередующихся состояний активности и простоя. Гистограмма подтвер-

ждает жёсткую двухуровневую структуру, соответствующую типовым сценариям с прерывистой передачей данных, например, в сенсорных сетях.

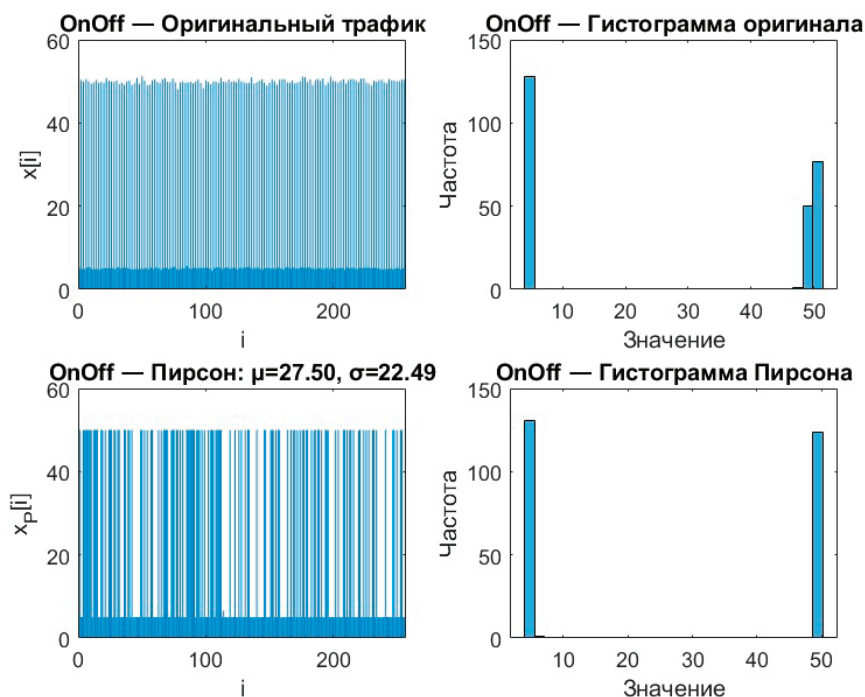


Рис. 4. Временная реализация и распределение значений трафика, сгенерированного моделью ON-OFF, и аппроксимации распределением Пирсона

MirageNet (рис. 5) демонстрирует многомодальное поведение, где зоны высокой активности чередуются с участками низкой плотности. Такая структура приводит

к распределению с несколькими выраженными пиками и отражает сложные сценарии с разнородной генерацией пакетов.

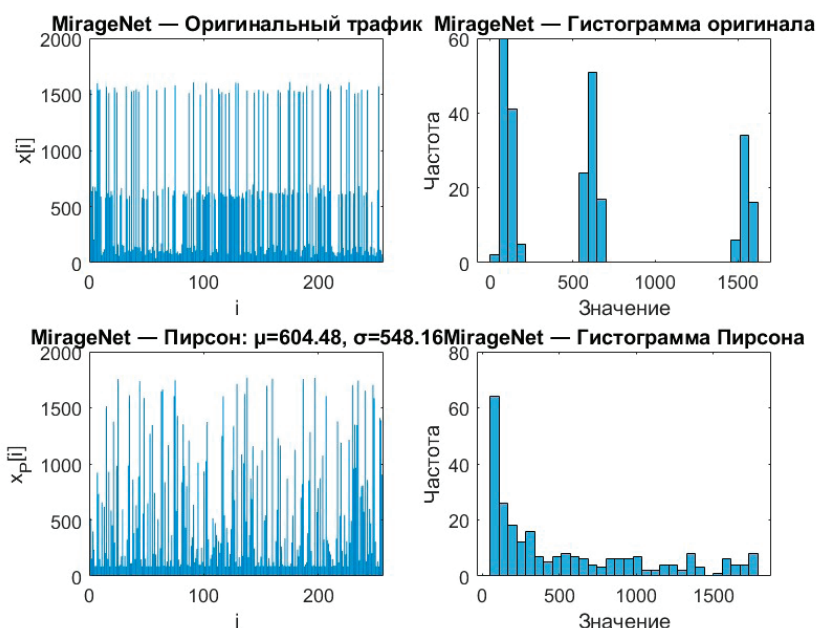


Рис. 5. Временная реализация и распределение значений трафика, сгенерированного моделью MirageNet, и аппроксимации распределением Пирсона

На рис. 6 модель PACGAN формирует трафик с равномерной плотностью событий и распределением, приближённым к нормальному.

Наблюдаемые различия между моделями охватывают несколько характерных типов поведения сетевого трафика — от стационарных и линейных до фазово-зави-

симых и дискретных. Несмотря на разнообразие форм, классификация по критерию Пирсона сохраняет характеристики временных последовательностей и их распределений, что позволяет применять данный подход для идентификации и имитации сетевых трафиков различного вида.

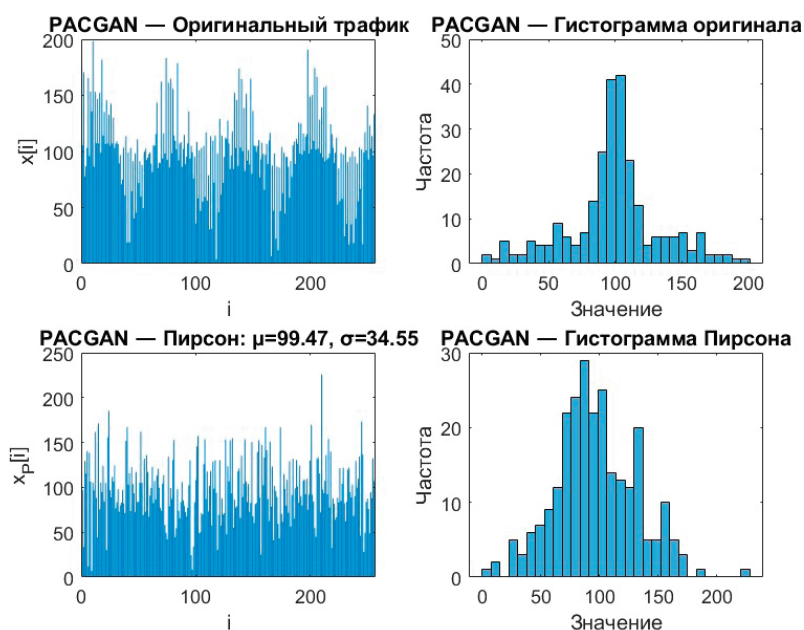


Рис. 6. Временная реализация и распределение значений трафика, сгенерированного моделью PACGAN, и аппроксимации распределением Пирсона

Заключение

Проведенное исследование показало, что система распределений Пирсона может быть использована для моделирования сетевого трафика различного вида без необходимости знания внутреннего механизма формирования последовательностей данных. Метод основан на восстановлении функции плотности вероятности по первым четырем моментам и автоматической классификации типа распределения из семейства распределений Пирсона. Такая схема позволяет воспроизводить поведение потока транзакций с высокой степенью точности в отношении среднего значения, дисперсии, асимметрии и эксцесса. Метод может применяться в прикладных задачах анализа зашифрованного или агрегированного сетевого трафика, когда глубокий анализ пакетов, например, по DPI, недоступен.

Эксперименты подтвердили применимость метода к широкому спектру моделей, включая как генераторы (AR, MMPP, ON-OFF), так и модели, имитирующие реальные источники трафика (MirageNet, PACGAN, NetDiffusion). В большинстве случаев отклонения по основным статистическим характеристикам не превышали 3 %, что соответствует требованиям к воспроизведению поведения потока транзакций в задачах тестирования, анализа и моделирования сетевого трафика.

В перспективе предполагается совершенствование метода за счет включения трендовых компонент. Современные исследования указывают на наличие скрытых закономерностей и структурных смещений в сетевых последовательностях транзакций. Разработка комбинированной схемы, объединяющей вероятностное моделирование с воспроизведением динамики тренда, позволит тестировать существующие и разрабатывать новые методы обнаружения долгосрочных трендов в трафике, включая выявление скрытых аномалий и структурных изменений.

Благодарности

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № FSWF-2025-0010 «Разработка научно-технических основ создания программных и аппаратных решений для управления объектами энергетики с использованием цифровых двойников и технологий искусственного интеллекта» и написана под руководством доктора технических наук, профессора Бехтина Ю. С. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было. Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература:

1. Павлович А. В., Дубровская Е. А., Баланев К. С., Бехтин Ю. С. Стабилизация пульсирующего сетевого трафика многомашинных вычислительных систем... // Технологии будущего... М.: НИУ «МЭИ», 2025. С. 348–359.
2. Баланев К. С., Бехтин Ю. С. Сравнительный анализ прогнозирования сетевого компьютерного трафика с использованием RNN, ARIMA моделей и вейвлет-преобразования... Казань: КГЭУ, 2024. С. 739–742.
3. Willinger W., Paxson V., Riedi R. H., et al. Long-range dependence and heavy tail behavior in Internet traffic. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1997.
4. Park K., Willinger W. (Eds.). Self-similar network traffic and performance evaluation. Wiley, 2000.
5. Papagiannaki K., et al. Long-term forecasting of Internet backbone traffic. IEEE Transactions on Neural Networks, 2005.
6. Heffes H., Lucantoni D. M. A Markov Modulated Characterization of Packetized Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexer Performance. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1986.
7. Karagiannis T., Molle M., Faloutsos M. Long-range dependence: now you see it, now you don't! IEEE GLOBECOM, 2002.
8. Norros I. On the use of fractional Brownian motion in the theory of connectionless networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1995.
9. Pearson K. Contributions to the Mathematical Theory of Evolution. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1895.

Эргономика цифрового творчества: сравнительный анализ пользовательских интерфейсов Krita и GIMP с позиции когнитивной нагрузки

Кононенко Анастасия Андреевна, студент

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

Работа посвящена сравнительному анализу пользовательских интерфейсов бесплатных графических редакторов Krita и GIMP с позиции эргономики и когнитивной нагрузки. Проведено качественное сравнение организации рабочего пространства, доступности инструментов и обратной связи по критериям, основанным на теории когнитивной на-

грузки и законах UX-дизайна. Установлено, что специализированный интерфейс Krita, благодаря использованию контекстного меню (HUD) и предустановленных рабочих сред, создаёт меньшую экстринсивную когнитивную нагрузку для пользователя-художника по сравнению с универсальным интерфейсом GIMP. Результаты позволяют сформулировать рекомендации по выбору программного обеспечения для цифрового творчества и выделить эффективные эргономические паттерны для разработчиков.

Ключевые слова: пользовательский интерфейс, когнитивная нагрузка, эргономика, Krita, GIMP, цифровая живопись.

С развитием цифровых технологий растровая графика стала основой для творчества в иллюстрации, концепт-арте и дизайне. Производительность художника в значительной степени определяется не только его навыками, но и эргономикой используемого программного обеспечения. Неоптимальный пользовательский интерфейс способен вызывать избыточную когнитивную нагрузку, отвлекая пользователя от творческой задачи на преодоление барьеров взаимодействия с программой. Таким образом, анализ интерфейсов с позиции минимизации умственного усилия представляет собой актуальную междисциплинарную задачу.

В качестве объектов исследования выбраны два ведущих бесплатных растровых редактора с открытым исходным кодом — Krita (версия 5.2.11), созданный для цифровых художников, и GIMP (версия 3.0), позиционируемый как универсальный инструмент для обработки изображений. Несмотря на частичное пересечение функционала, их пользовательские интерфейсы построены на разных философских подходах, что на практике может приводить к значительной разнице в удобстве и скорости работы. Однако в научной литературе отсутствуют работы, системно сравнивающие эргономику этих программ с точки зрения когнитивной психологии.

Целью данного исследования является проведение сравнительного анализа пользовательских интерфейсов Krita и GIMP для выявления эргономических решений, минимизирующих когнитивную нагрузку при выполнении типовых творческих операций.

В работе были реализованы следующие задачи:

1) определение ключевых критериев анализа на основе теории когнитивной нагрузки и принципов UX-дизайна;

2) проведение детального сравнения интерфейсов по выделенным критериям;

3) разработка практических рекомендаций на основе результатов исследования.

Для проведения сравнительного анализа пользовательских интерфейсов в качестве теоретического фундамента была выбрана теория когнитивной нагрузки (Cognitive Load Theory, CLT) Дж. Свеллера [1]. С позиции данной теории, при оценке интерфейсов ключевое значение имеет экстринсивная (внешняя) нагрузка — умственные усилия, затрачиваемые на обработку информации, не связанной напрямую с решением задачи (например, на поиск нужной кнопки в меню, запоминание расположения функций). Минимизация этой нагрузки является одной из целей эргономичного дизайна.

Для перевода теоретических положений в практические критерии оценки были привлечены классические законы и принципы UX/UI-дизайна. В частности, закон Фиттса определяет, что время наведения на целевой объект зависит от его размера и расстояния до него [2]. Закон Хика гласит, что время принятия решения растёт с увеличением количества возможных выборов [3]. Принцип согласованности (консистентности) предполагает, что схожие элементы должны вести себя предсказуемо, а принцип обратной связи — что система должна информировать пользователя о результатах его действий.

На стыке теории когнитивной нагрузки и принципов UX были выделены три ключевых критерия для сравнительного анализа, непосредственно влияющих на экстринсивную нагрузку пользователя графического редактора. Критерии представлены в таблице 1.

Таблица 1. Критерии оценивания графических редакторов

№	Критерий	Описание критерия	Связь с теорией
1	Доступность частых операций	Расстояние и количество действий для доступа к основным инструментам (кисть, цвет, ластик).	Закон Фиттса, Закон Хика. Минимизация движений и выборов снижает экстринсивную нагрузку.
2	Организация рабочего пространства	Наличие и качество предустановленных профилей, логическая группировка элементов интерфейса «из коробки».	Принцип согласованности, минимизация германтивной нагрузки. Пользователь быстрее формирует ментальную модель программы.
3	Наглядность и предсказуемость обратной связи	Информативность визуализации активного инструмента (форма кисти, прозрачность), однозначность реакции интерфейса на действия.	Принцип обратной связи. Снижает нагрузку на рабочую память, улучшает чувство контроля.

Центральной операцией в цифровой живописи является смена кисти и/или цвета. Анализ показал принципиальное различие в подходах Krita и GIMP к организации доступа к этим функциям.

В Krita основной механизм — контекстное всплывающее меню, вызываемое нажатием клавиши-модифика-

тора или колесиком мыши. Меню, так называемое HUD — Heads-Up Display, которое подробно описано в руководстве пользователя [4], появляется в непосредственной близости от курсора, предоставляя доступ к палитре цветов, набору кистей и их настройкам. Контекстное меню представлено на рисунке 1.

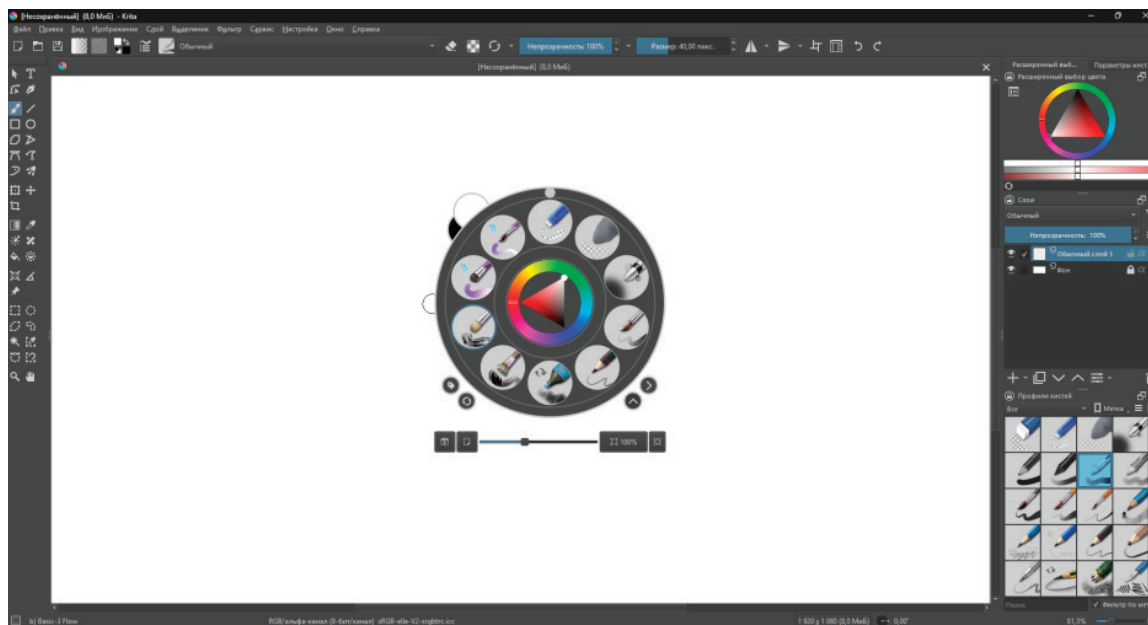


Рис. 1. Контекстное меню (HUD) в Krita

Это решение является прямым применением закона Фиттса: целевая область (меню) появляется рядом с указателем, сводя время и расстояние наведения к минимуму. Пользователь решает задачу (выбор цвета) в 1–2 клика, не отрывая внимание от области рисования.

В GIMP по умолчанию реализована классическая схема с фиксированными панелями, что представлено на рисунке 2.

Инструмент «Кисть» выбирается на одной панели, цвет — на другой, часто расположенных в разных частях окна. Для смены цвета в процессе рисования пользова-

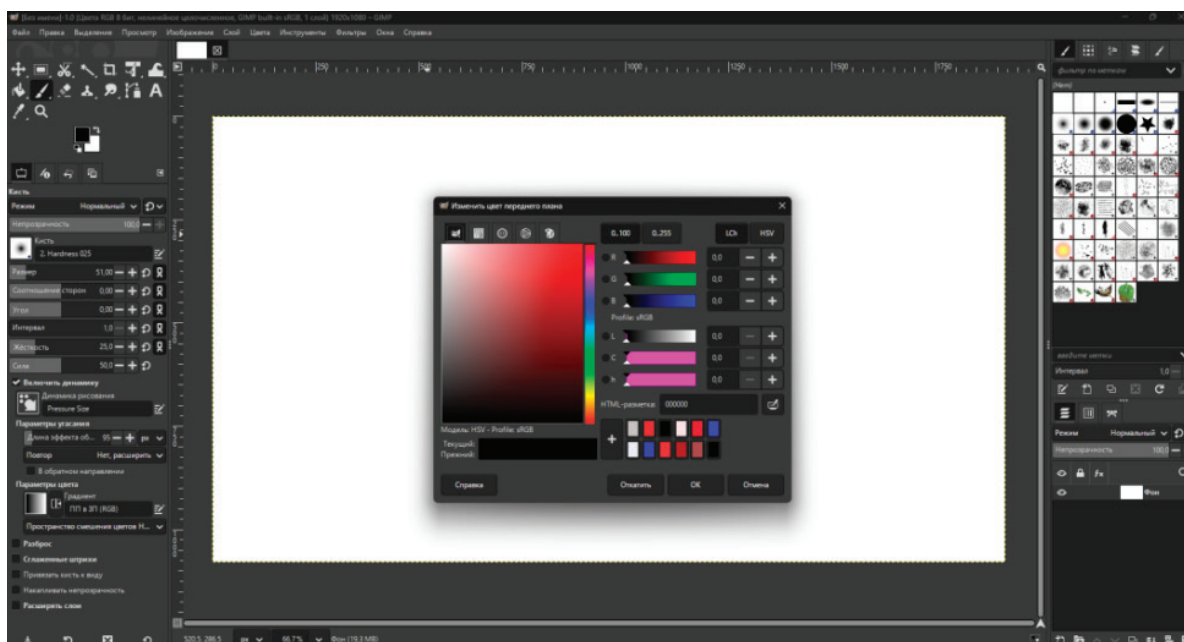


Рис. 2. Фиксированные панели инструментов и цвета в GIMP

тельно необходимо совершить длинное движение курсором от холста к панели, что увеличивает время и мысленное усилие. Данная архитектура, хотя и предоставляет полный контроль, создаёт повышенную экстринсивную нагрузку, заставляя пользователя постоянно переключать контекст между творчеством и поиском инструментов.

Krita предлагает пользователю несколько предустановленных рабочих пространств, наиболее релевантных для разных задач: «Default», «Animation», «Big_Paint». «Default» — стандартное рабочее пространство, которое отображается при первом включении программы, представлено на рисунке 3.

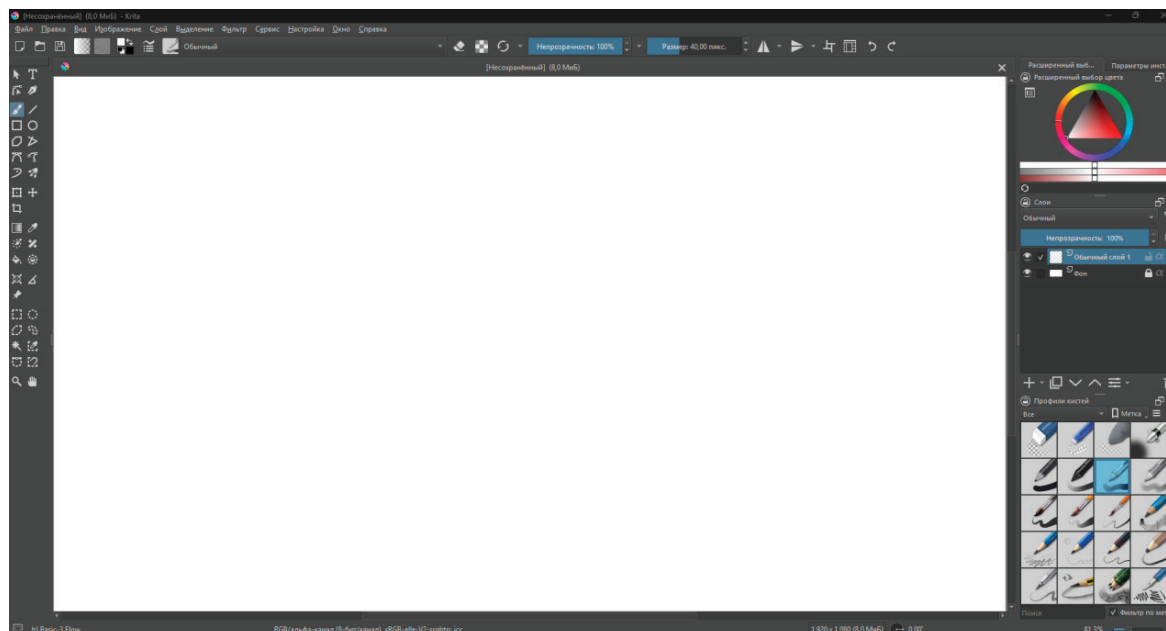


Рис. 3. Рабочее пространство «Default» в Krita

Пространство «Default» активирует только необходимые для художника панели (кисти, слои, расширенные настройки цвета), скрывая узкоспециализированные инструменты для, например, веб-дизайна. Это соответствует принципу согласованности и снижает германтивную нагрузку: интерфейс

сразу соответствует ментальной модели инструмента для рисования, не требуя длительной первоначальной настройки.

Интерфейс GIMP, который представлен ниже, на рисунке 4, по умолчанию является универсальным и технически ориентированным.

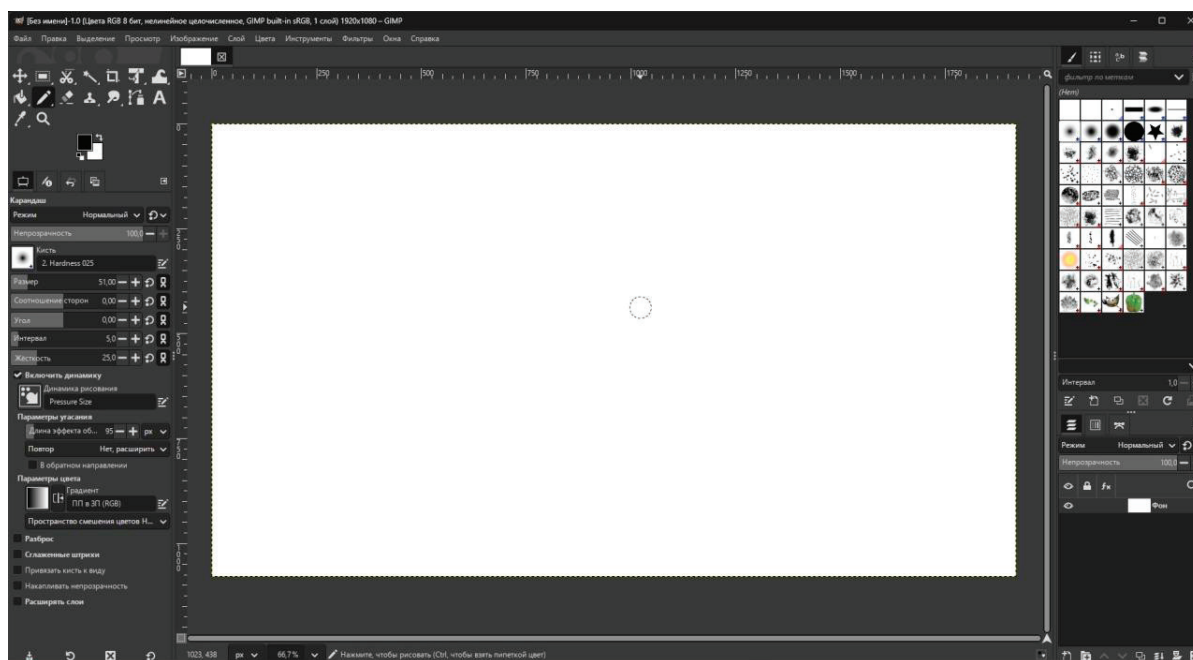


Рис. 4. Стандартный интерфейс GIMP

Все панели и меню доступны одновременно, что может быть полезно для опытного пользователя, но создаёт информационный шум для новичка. Для комфортной работы в цифровой живописи пользователь вынужден вручную настраивать и сохранять своё рабочее пространство, что является дополнительным барьером входа и источником экстринсивной нагрузки на стартовом этапе.

Качество визуальной обратной связи напрямую влияет на чувство контроля и плавность работы. В Krita курсор

кисти по умолчанию отображает детальную, полупрозрачную форму с учётом текстуры, угла наклона и давления пера. Пример отображения формы кисти с текстурой на рисунке 5.

Это даёт художнику точную информацию о результате следующего мазка до его нанесения, реализуя принцип предсказуемой обратной связи.

В GIMP визуализация кисти в базовой конфигурации более схематична: чаще всего отображается лишь контур круга заданного размера, что демонстрирует Рисунок 6.



Рис. 5. Детальная форма с текстурой в Krita

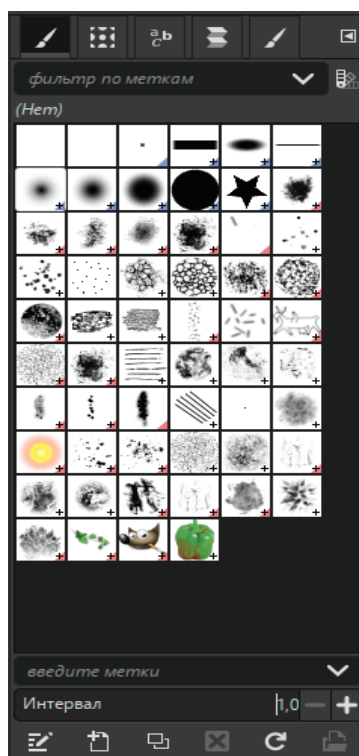


Рис. 6. Схематичный контур в GIMP

Информация о мягкости краёв, текстуре или динамике, как правило, скрыта. Пользователю приходится полагаться на пробные мазки или опыт, что увеличивает когнитивную нагрузку, связанную с проверкой и корректировкой результата.

Проведённый сравнительный анализ позволяет сделать ряд обобщающих наблюдений о влиянии архитектуры интерфейса на когнитивную нагрузку пользователя. Результаты по всем трём критериям последовательно указывают на то, что интерфейс Krita целенаправленно спроектирован для минимизации экстринсивной нагрузки в контексте цифровой живописи. Интеграция ключевых инструментов в контекстное меню (HUD) является прямым отражением закона Фиттса и главным фактором снижения числа лишних действий. В отличие от этого, модульная, но разрозненная архитектура GIMP оставляет задачу оптимизации рабочего процесса на усмотрение самого пользователя, что является источником дополнительной нагрузки, особенно на начальном этапе.

Полученные данные имеют прямую практическую значимость для двух групп. Для пользователей-художников, особенно начинающих, результаты служат объективным основанием для выбора инструмента: Krita предлагает более короткий и предсказуемый путь к результату, снижая барьер входа. Также данные значимы для разработчиков программного обеспечения и UX-дизайнеров, так как исследование демонстрирует эффективность конкретных паттернов:

- 1) контекстно-зависимого доступа к инструментам;
- 2) предустановленных тематических рабочих пространств;
- 3) детализированной и предсказуемой визуальной обратной связи.

Литература:

1. Sweller, J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning / J. Sweller // *Cognitive Science*. — 1988. — № 12. — P. 257–285.
2. Fitts, P. M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement / P. M. Fitts // *Journal of Experimental Psychology*. — 1954. — Vol. 47, № 6. — P. 381–391.
3. Hick, W. E. On the rate of gain of information / W. E. Hick // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. — 1952. — Vol. 4, № 1. — P. 11–26.
4. Krita Documentation. Chapter 3.4. Pop-up Palette [Электронный ресурс] URL: https://docs.krita.org/en/reference_manual/popup_palette.html (дата обращения: 25.01.2026).
5. Гульяев, А. К. Проектирование и дизайн пользовательских интерфейсов / А. К. Гульяев, В. А. Машин. — СПб.: Корона-Век, 2017. — 352 с.
6. Nielsen, J. 10 Usability Heuristics for User Interface Design [Электронный ресурс] / J. Nielsen. — 1994. — URL: <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/> (дата обращения: 25.01.2026).
7. GIMP User Manual. Basic Concepts [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.gimp.org/docs/> (дата обращения: 25.01.2026).
8. Cooper, A. About Face: The Essentials of Interaction Design / A. Cooper, R. Reimann, D. Cronin, C. Noessel. — 4th ed. — Indianapolis: John Wiley & Sons, 2014. — 720 p.

Эти решения могут быть адаптированы для улучшения эргономики не только творческого, но и другого сложного ПО.

Следует отметить ограничения данного исследования. Анализ носил качественный характер и не подкреплён количественными данными, такими как время выполнения задач или физиологические замеры нагрузки (эйтрекинг, ЭЭГ). Кроме того, оценка проводилась для стандартных конфигураций программ, в то время как расширенная настройка GIMP опытным пользователем может частично компенсировать выявленные недостатки. Данные направления задают перспективу для дальнейших исследований.

На основании проведённого исследования были сформулированы следующие выводы:

1. Пользовательский интерфейс Krita, в силу своей специализации, создаёт статистически меньшую экстринсивную когнитивную нагрузку по сравнению с интерфейсом GIMP при выполнении типовых задач цифровой живописи.
2. Ключевыми эргономическими преимуществами Krita являются: реализация контекстного меню (HUD) для быстрого доступа к инструментам; наличие оптимизированных рабочих пространств; более информативная визуальная обратная связь от инструментов рисования.
3. Для целевой аудитории — цифровых художников, особенно на этапе обучения — интерфейс Krita является более предпочтительным, так как снижает нагрузку, не связанную напрямую с творческим процессом.
4. Выявленные эффективные паттерны проектирования (HUD, профилирование интерфейса под задачу) представляют ценность для теории и практики UX-дизайна и могут быть использованы для повышения удобства сложного программного обеспечения.

Прогноз солнечной радиации на основе нейросетевых моделей и открытых метеоданных open-meteo для оптимизации генерации солнечной энергетики

Шатаров Кирилл Александрович, студент магистратуры
Московский политехнический университет

В статье рассматривается задача краткосрочного прогнозирования солнечной радиации с использованием нейросетевых моделей и открытых метеорологических данных сервиса Open-Meteo. Проанализированы современные архитектуры глубокого обучения, применяемые для обработки временных и пространственно-временных метеорологических данных, а также их роль в повышении точности прогнозирования генерации солнечных электростанций.

Ключевые слова: солнечная радиация, прогнозирование, нейронные сети, глубокое обучение, солнечная энергетика, метеорологические данные, Open-Meteo, возобновляемые источники энергии.

Введение

Развитие возобновляемых источников энергии является одним из ключевых направлений трансформации современной энергетики в условиях декарбонизации и перехода к устойчивым энергетическим системам. Солнечная энергетика занимает ведущее место среди возобновляемых источников благодаря высокой масштабируемости, технологической зрелости и снижению стоимости фотоэлектрических установок. Вместе с тем существенным ограничением для широкого внедрения солнечных электростанций остаётся высокая изменчивость выработки, обусловленная стохастическим характером солнечной радиации.

Солнечная радиация формируется под воздействием сложных атмосферных процессов, включающих облачность, содержание водяного пара, аэрозольный состав, а также сезонные и суточные астрономические факторы. В результате фактическая генерация солнечных электростанций может существенно отклоняться от прогнозируемых значений, что приводит к росту потребности в резервировании мощности, усложняет диспетчерское управление и снижает экономическую эффективность энергосистем с высокой долей возобновляемых источников.

В ряде исследований в области мониторинга и прогнозирования атмосферных параметров подчёркивается, что высокая изменчивость метеорологических процессов требует перехода от детерминированных методов оценки к адаптивным интеллектуальным системам, способным учитывать пространственно-временную неоднородность атмосферы и динамику загрязняющих и метеорологических факторов. Использование автоматизированных систем сбора и анализа метеорологических данных позволяет повысить достоверность прогнозов и обеспечить их практическую применимость в задачах управления сложными технико-природными системами, включая энергетические объекты [6].

Точность краткосрочного прогноза солнечной радиации является критически важной задачей для оптими-

зации работы солнечных электростанций, планирования режимов генерации, управления накопителями энергии и обеспечения устойчивости энергосистем. В этой связи особый интерес представляет использование методов искусственного интеллекта и глубокого обучения, способных выявлять нелинейные зависимости в больших массивах метеорологических данных.

Современные исследования в области управления энергосистемами с высокой долей возобновляемых источников показывают, что внедрение предиктивной аналитики на основе машинного обучения позволяет существенно снизить неопределённость при планировании режимов работы генерации. Прогнозирование выработки солнечной энергетики на основе метеорологических данных рассматривается как ключевой элемент интеллектуальных систем поддержки принятия решений, обеспечивающих повышение надёжности и экономической эффективности энергосистем [7].

Современные открытые метеорологические сервисы, такие как Open-Meteo, предоставляют доступ к высококачественным историческим и прогнозным данным с высоким временным разрешением, что создаёт предпосылки для построения data-driven моделей прогноза солнечной радиации, ориентированных на практические задачи энергетики [5].

Цель исследования

Целью настоящего исследования является разработка и экспериментальная валидация нейросетевых моделей краткосрочного прогноза солнечной радиации на основе открытых метеорологических данных сервиса Open-Meteo, ориентированных на повышение точности прогнозирования генерации солнечных электростанций и оптимизацию их работы в энергосистемах с высокой долей возобновляемых источников энергии.

Дополнительно исследование ориентировано на обоснование применимости нейросетевых моделей в составе автоматизированных и предиктивных систем управления энергетическими объектами, где прогноз метеорологиче-

ских параметров используется как входная информация для оптимизации режимов генерации и балансирования нагрузки [7].

Теоретические основы моделирования солнечной радиации

Традиционные подходы к моделированию солнечной радиации базируются на физических моделях радиационного переноса и эмпирико-статистических зависимостях. Классические модели ясного неба описывают поток солнечного излучения при отсутствии облачности и учитывают геометрическое положение Солнца, атмосферную прозрачность и газовый состав. Такие модели широко применяются в инженерных расчётах, однако они не способны адекватно учитывать влияние облаков и быстро меняющиеся атмосферные условия [1].

Физико-статистические модели расширяют подход ясного неба за счёт использования метеорологических параметров, включая облачность и влажность, однако их точность существенно снижается в условиях сложной и неоднородной атмосферы. Кроме того, такие модели требуют ручной настройки коэффициентов и плохо адаптируются к локальным климатическим условиям, что ограничивает их применение для оперативного прогнозирования генерации солнечных электростанций.

В исследованиях, посвящённых прогнозированию эколого-метеорологических параметров, отмечается, что классические статистические методы демонстрируют ограниченную устойчивость при наличии пропусков данных, шумов и резких изменений атмосферных условий. В этой связи всё большее распространение получают интеллектуальные методы, позволяющие формировать устойчивые прогнозы на основе неполных и зашумлённых временных рядов, что особенно важно для задач энергетики и экологического мониторинга [6].

Аналитическое исследование нейросетевых архитектур и моделей для прогноза солнечной радиации

В задачах прогнозирования солнечной радиации важно различать понятия нейросетевой архитектуры и нейросетевой модели. Под архитектурой понимается класс вычислительных структур и принцип организации слоёв нейронной сети, определяющий характер обработки данных. Модель же представляет собой конкретную реализацию выбранной архитектуры с заданными параметрами, обученную на определённом наборе данных.

Одним из наиболее распространённых классов архитектур для прогнозирования солнечной радиации являются рекуррентные нейронные сети, в частности LSTM и GRU. Их архитектурной особенностью является наличие механизмов памяти, позволяющих учитывать временную зависимость между наблюдениями. Конкретные модели на основе LSTM могут различаться глубиной сети,

размерностью скрытых состояний, длиной временного окна и набором входных признаков. Такие модели хорошо работают с одномерными временными рядами солнечной радиации, однако ограничены в способности учитывать пространственную структуру атмосферных процессов [2].

В исследованиях автоматизированных систем прогнозирования атмосферных параметров подчёркивается, что рекуррентные нейросети демонстрируют высокую эффективность при анализе временных рядов метеорологических данных, особенно при наличии выраженной сезонности и суточной цикличности. При этом качество прогноза существенно зависит от корректного формирования входных признаков и выбора временного горизонта прогнозирования [6].

Для учёта пространственной неоднородности атмосферы применяются свёрточные архитектуры и их расширения. Архитектура ConvLSTM сочетает в себе рекуррентные и свёрточные операции, что позволяет моделировать эволюцию двумерных полей облачности и радиации во времени. Конкретные модели ConvLSTM отличаются количеством свёрточных фильтров, размером ядер и глубиной рекуррентных блоков. Такие модели особенно эффективны при использовании пространственных метеорологических данных и облачных карт [3].

Современные архитектуры, основанные на механизме внимания, включая трансформеры и Temporal Fusion Transformer, представляют собой отдельный класс нейросетей, ориентированных на обработку сложных многомерных временных рядов. Архитектура трансформера позволяет явно моделировать зависимости между различными временными шагами без использования рекуррентных связей. Конкретные модели трансформеров могут существенно различаться по числу голов внимания, глубине encoder-decoder блоков и способу кодирования временных признаков. Эти модели демонстрируют высокую эффективность при прогнозировании солнечной радиации в условиях большого количества входных параметров и сложных нелинейных зависимостей [4].

В задачах предиктивной аналитики энергосистем использование архитектур с механизмами внимания позволяет учитывать взаимосвязь между метеорологическими факторами, режимами работы генерации и состоянием энергосистемы в целом. Такие модели рассматриваются как перспективный инструмент интеграции прогнозов ВИЭ в контуры оперативного и краткосрочного управления энергосистемами [7].

Отдельного внимания заслуживают гибридные архитектуры, сочетающие различные принципы обработки данных. Например, комбинация ConvLSTM и трансформера позволяет объединить преимущества локального пространственного анализа и глобального временного внимания. Такие архитектуры не являются отдельными моделями, а представляют собой класс решений, внутри которого возможна настройка конкретных моделей под региональные и энергетические условия.

Использование данных Open-Meteo

Сервис Open-Meteo предоставляет унифицированный доступ к историческим и прогнозным метеорологическим данным, включая солнечную радиацию, облачность, температуру воздуха, влажность, атмосферное давление, скорость и направление ветра. Данные доступны с почасовым разрешением и охватывают длительные временные интервалы, что делает их пригодными для обучения нейросетевых моделей различной сложности [5].

Подход, основанный на использовании централизованных источников метеорологических данных, соответствует современным концепциям построения автоматизированных систем мониторинга и прогнозирования, где особое значение придаётся целостности, сопоставимости и воспроизводимости входной информации. Это позволяет формировать масштабируемые решения, адаптируемые к различным регионам и условиям эксплуатации энергетических объектов [6].

Важным преимуществом использования данных Open-Meteo является их совместимость с численными моделями погоды и продуктами реанализа, что позволяет формировать согласованные обучающие выборки и использовать прогнозные метео данные в качестве входных параметров нейросетевых моделей солнечной радиации.

Методология исследования

Солнечная радиация рассматривается как целевая переменная, прогнозируемая на основе набора метеорологических и временных признаков. На этапе предварительной обработки данных выполняются очистка временных рядов, восстановление пропусков, нормализация и формирование скользящих временных окон. Дополнительно вводятся календарные и астрономические признаки, учитывающие суточную и сезонную изменчивость солнечного излучения.

Подобный подход соответствует методикам построения интеллектуальных систем прогнозирования,

в которых большое внимание уделяется качеству предварительной обработки данных, корректному формированию обучающих выборок и устойчивости моделей к неполноте и зашумлённости входной информации [6].

Для моделирования используются различные нейросетевые архитектуры, каждая из которых реализуется в виде набора моделей с различными параметрами. Качество прогнозов оценивается с использованием стандартных метрик ошибки, включая среднюю абсолютную ошибку и среднеквадратичное отклонение. Отдельно анализируется влияние точности прогноза солнечной радиации на прогнозирование генерации солнечных электростанций.

В контексте энергосистем с возобновляемыми источниками энергии подобная методология позволяет оценить вклад качества метеорологического прогноза в снижение дисбалансов мощности и повышение эффективности диспетчерского управления, что подчёркивается в исследованиях по предиктивной аналитике режимов работы энергосистем [7].

Заключение

Использование нейросетевых архитектур в сочетании с открытыми метеорологическими данными Open-Meteo является эффективным подходом к прогнозированию солнечной радиации в задачах солнечной энергетики. Проведённое аналитическое исследование архитектур и моделей показывает, что выбор архитектуры и её параметризация оказывают решающее влияние на качество прогноза и его практическую применимость в энергетических системах.

Результаты исследования согласуются с современными подходами к построению автоматизированных систем мониторинга метеорологических параметров и предиктивной аналитики энергосистем, подтверждая перспективность интеграции нейросетевых прогнозов солнечной радиации в контуры управления генерацией и планирования режимов работы солнечных электростанций [AP1; AP2].

Литература:

1. Gueymard, C. A. Clear-sky irradiance predictions for solar resource mapping and large-scale applications / C. A. Gueymard. — Текст: непосредственный // Solar Energy. — 2012.
2. Yang, D. Solar irradiance forecasting using machine learning methods / D. Yang, J. Kleissl, C. A. Gueymard. — Текст: непосредственный // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2018.
3. Shi, X. Convolutional LSTM network: A machine learning approach for precipitation nowcasting / X. Shi, Z. Chen, H. Wang. — Текст: непосредственный // Advances in Neural Information Processing Systems. — 2015.
4. Voyant, C. Machine learning methods for solar radiation forecasting: A review / C. Voyant, G. Notton, S. Kalogiourou. — Текст: непосредственный // Renewable Energy. — 2017.
5. Open-source weather API and climate data documentation. — Текст: электронный // open-meteo.com: [сайт]. — URL: <https://open-meteo.com/en/docs/historical-weather-api> (дата обращения: 25.01.2026).
6. Волкова, Е. А. Разработка автоматизированной системы и методик для мониторинга и прогнозирования эколого-метеорологических параметров атмосферного воздуха: специальность 2.2.8: автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук / Волкова Елена Анатольевна; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ун-т «Московский ин-т электронной техники». — М., 2025. — 23 с. — Текст: непосредственный.

7. Осгонбаатар, Тувшин Разработка системы предиктивной аналитики режимов работы электроэнергетической системы с возобновляемыми источниками: на примере энергосистемы Монголии: специальность 2.4.3: автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук / Осгонбаатар Тувшин; ФГБОУ ВО «Новосибирский гос. технический университет». — Новосибирск, 2025. — 20 с. — Текст: непосредственный.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Обеспечение чистоты производства космических аппаратов как ключевой фактор надёжности и безопасности

Балакин Михаил Андреевич, студент;

Петров Никита Вячеславович, студент;

Осауленко Лия Константиновна, студент

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

В статье рассматриваются вопросы обеспечения чистоты производства космических аппаратов на этапах сборки, испытаний и подготовки к эксплуатации. Показана роль загрязнений в возникновении отказов систем космических аппаратов, приведена классификация источников загрязнений и критериев оценки чистоты. Особое внимание уделено классификации чистых помещений, методам обеспечения требуемых уровней чистоты, а также сравнению отечественных и международных стандартов.

Ключевые слова: космический аппарат, чистота производства, чистые помещения, загрязнения, классы чистоты, стандарты ISO, ГОСТ, надёжность космической техники.

Введение

Для современных космических аппаратов одним из важнейших факторов, влияющих на работоспособность космических аппаратов, является чистота производства. В отличие от наземной техники, космические аппараты эксплуатируются в условиях невозможности ремонта и обслуживания, что делает любые производственные дефекты критичными. Даже незначительные загрязнения могут привести к отказу систем, деградации характеристик или преждевременному выходу изделия из строя.

Постановка целей и задач

Цель данной работы заключается в анализе принципов и методов обеспечения чистоты производства космических аппаратов, а также рассмотрение эволюции требований к чистоте в отечественной и международной практике. Задачи для нашего изучения:

- рассмотреть понятие чистоты производства космических аппаратов;
- изучить критерии и классификацию чистоты рабочих сред и помещений;
- рассмотреть методы обеспечения чистоты производства.

Основная часть

Рассмотрим понятие чистоты производства космических аппаратов. Под чистотой производства косми-

ческих аппаратов понимается совокупность организационных, технологических и технических мероприятий, направленных на ограничение содержания твёрдых частиц, масел, пыли и волокон в воздухе, рабочих жидкостях и внутренних полостях изделий. Целью данных мероприятий является создание условий, при которых загрязнения не оказывают влияния на функционирование и надёжность космического аппарата.

Следует подчеркнуть, что чистота производства охватывает не только состояние воздуха в помещениях, но и чистоту поверхностей деталей, технологических жидкостей, инструмента, оборудования и одежды персонала.

Источники загрязнений можно условно разделить на несколько групп. К технологическим источникам относятся металлическая стружка и заусенцы, продукты износа режущего инструмента, абразивные частицы после шлифования и доводки, остатки формовочных смесей, пригар и окалина после термической обработки. К эксплуатационным источникам относятся продукты коррозии деталей, отслаивание защитных и лакокрасочных покрытий, а также продукты износа элементов конструкции. Особое место занимает человеческий фактор. Пыль, волокна одежды, частицы кожи и волос, а также следы косметических средств являются одними из наиболее трудно контролируемых источников загрязнений. По этой причине в чистых помещениях вводятся строгие требования к технологической одежде и поведению персонала.

Основным критерием оценки чистоты является количество загрязняющих частиц, находящихся в единице



Рис. 1. Пример униформы персонала

объёма воздуха или рабочей жидкости. Оценка проводится по числу частиц и их размерам, так как именно размер частиц определяет их способность проникать в зазоры и вызывать отказ оборудования. В различных стандартах используются разные объёмы измерений: кубический метр, литр или кубический фут воздуха. Критерием допустимого уровня загрязнений является класс чистоты, назначаемый разработчиком изделия в соответствии с действующими нормативными документами.

Классы чистоты жидких рабочих и технологических сред регламентируются ГОСТ 17216–71 «Классы чистоты жидкостей». Стандарт устанавливает допустимое количество частиц различных размеров в заданном объёме жидкости. Для высших классов чистоты допускается лишь строго ограниченное количество мелких частиц, а крупные загрязнения полностью запрещаются.

Чистота газообразных рабочих и технологических сред регламентируется ГОСТ 17433–72 «Классы загрязнённости сжатого воздуха». Данный стандарт имеет особое значение для пневмосистем и систем продувки, используемых при сборке и испытаниях космических аппаратов.

Классы чистоты производственных помещений

В зависимости от допустимой степени запылённости различают несколько классов чистоты производственных помещений. В учебной литературе традиционно выделяются четыре класса чистоты, которые используются для рационального разделения технологических операций.

Помещения более высоких классов чистоты предназначены для сборки агрегатов, работы с открытыми по-

лостями и контроля сверхточных приборов. Помещения более низких классов применяются для испытаний, консервации и хранения изделий.

Методы обеспечения чистоты производства

Обеспечение требуемых уровней чистоты достигается комплексом мер, включающих фильтрацию приточного воздуха, поддержание избыточного давления, использование гладких и легко очищаемых поверхностей, проведение регламентированных уборок, применение технологической одежды персонала, а также организацию тамбуров и шлюзов. Все эти меры направлены на предотвращение заноса загрязнений извне и снижение их концентрации внутри производственных помещений.

Заключение

Обеспечение чистоты производства космических аппаратов является системной задачей, охватывающей контроль воздуха, рабочих сред, оборудования и персонала. Чистота производства напрямую влияет на надёжность, безопасность и срок службы космических аппаратов.

Анализ учебной литературы и современных стандартов показывает, что принципы, заложенные в классических трудах по технологии сборки космических аппаратов, сохраняют свою актуальность и служат фундаментом для современных нормативных требований. Современные стандарты развивают эти принципы, делая их более точными и универсальными, что особенно важно в условиях международного сотрудничества в космической отрасли.

Литература:

1. Белякова И. Т., Зернова И. А. Технология сборки космических аппаратов. — М.: Машиностроение, 1990. — Гл. 13.
2. ГОСТ 17216–71. Классы чистоты жидкостей.
3. ГОСТ 17433–72. Классы загрязнённости сжатого воздуха.
4. ГОСТ Р ИСО 14644–1. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды.

Методика расчета порога обнаружения при ограниченной размерности текущих данных

Дорошева Софья Алексеевна, студент;
Терентьев Сергей Владимирович, студент магистратуры
Научный руководитель: Сисигин Игорь Васильевич, кандидат технических наук, доцент,
начальник цикла-старший преподаватель военного учебного центра
Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Москва)

В статье авторы представляют результаты исследований систем пеленгации в части расчета порога принятия решений по оценкам плотностей распределения достаточных статистик обнаружения.

Ключевые слова: достаточная статистика, плотность распределения вероятностей, вероятность правильного обнаружения, вероятность ложной тревоги, критерий оптимальности, критерий согласия.

Актуальность работы

Исследование радиолокационных станций и систем методами математического моделирования предполагает получение оценок параметров и характеристик статистической обработки входных данных. При этом, в силу временных ограничений на проведение моделирования, объем этих данных также ограничен. В связи с этим, исследователь должен оценивать качество результатов обработки применяя специальные методы, дающие приемлемый результат в указанных условиях.

Для радиолокационных станций обнаружения целей и измерения их координат вне зависимости от вида радиолокации (активной или пассивной), применяемой для получения данных, наибольшую значимость имеют показатели качества обнаружения, которые в соответствии с критерием Неймана-Пирсона характеризуются условной вероятностью правильного обнаружения при фиксированной условной вероятности ложной тревоги. Оценки этих показателей качества получаются при заданном пороге обнаружения, значение которого определяется уровнем собственного шума приемного тракта, плотностью его распределения и значением заданной условной вероятности ложной тревоги. Таким образом, в процессе математического моделирования процесса обработки сигналов и получения оценок показателей качества обнаружения РЛС требуется знание плотности распределения шума и величины порога обнаружения.

В данной статье авторы, на основе личного опыта проведения исследований в области радиопеленгации, представляют методику расчета порога обнаружения при ограниченном объеме входных данных с использованием аппарата проверки статистических гипотез о законах распределения случайных величин по минимальному набору входных данных.

Постановка задачи

В ходе оценки показателей качества обнаружения сигналов от источников радиоизлучения макетом пассивного двухканального обнаружителя-пеленгатора требуется вычисление порога обнаружения Z_0 на основе заданных значений условной вероятности ложной тревоги $P_{ЛТ}$ и имеющихся реализаций достаточной статистики на выходе устройства обработки, полученных методом имитационного моделирования и на основе аналого-цифрового преобразования реальных сигналов при наличии на входе только собственного шума.

Исходные данные

Входные реализации шума приемного тракта представляют из себя независимые стационарные случайные процессы n_{01} и n_{02} с нормальным законом распределения, нулевым математическим ожиданием $m_{01}, m_{02} = 0$ и дисперсиями σ_{01}^2 и σ_{02}^2 . Пример реализации входных шумов, показан на рис. 1.

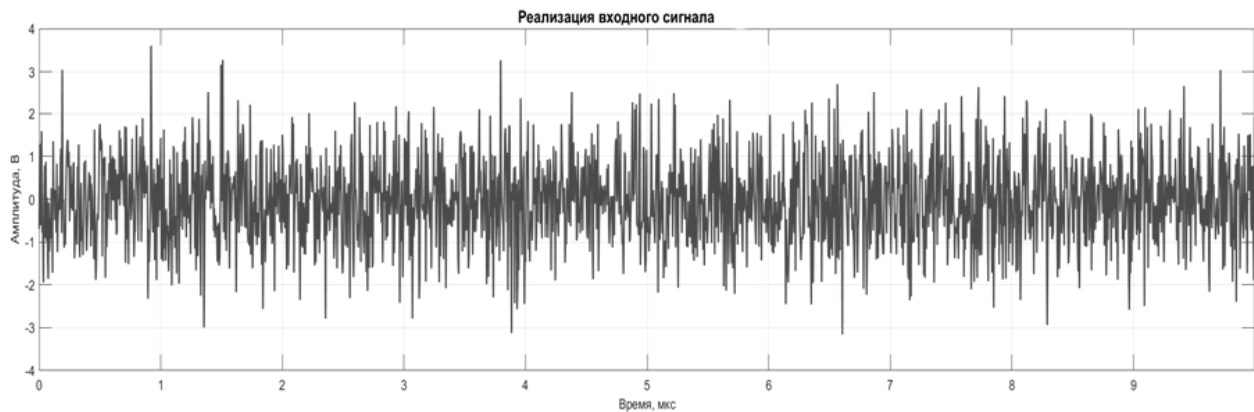
Для статистического моделирования собственного шума было использовано выражение числового вектора n_{01} размерностью N , полученное методом обратной функции

$$n_{01}[i] = \text{Re}\{\sigma_{01} \cdot \sqrt{-2\ln(\xi_1)} \cdot e^{-j2\pi\xi_2}\}, \quad (1)$$

где ξ_1 и ξ_2 — независимые случайные величины, равномерно распределены на интервале $[0,1]$;

$i = 1 \dots N$.

В качестве достаточной статистики обнаружения использовался результат совместной обработки сигналов от двух приемных каналов, реализующих классический амплитудный метод пеленгации по критерию максимума отношения

Рис. 1. Реализация входного шума n_{01}

правдоподобия при условии распределения шума по нормальному закону. Аналитический вид достаточной статистики представлен формулой (2).

$$Z_3(t) = \int_0^{T_{\text{набл}}} y_1^2(t - \tau) d\tau + \int_0^{T_{\text{набл}}} y_2^2(t - \tau) d\tau + 2 \int_0^{T_{\text{набл}}} y_1(t - \tau) y_2(t - \tau) d\tau \quad (2)$$

Анализ выражения показывает, что в процессе обработки входные реализации сигналов возводятся в квадрат, что приводит к изменению их статистических характеристик. При наличии во входной реализации только шума плотность распределения выходной статистики будет подчиняться закону Рэлея. Это приводит к снижению отношения сигнал-шум на выходе устройства обработки и зависимости порогового значения от времени интегрирования (накопления). Таким образом, при исследовании данного способа обработки требуются знания о законе распределения шума на выходе и получении оценок его параметров для пересчета порогов обнаружения.

Описание методики расчета порога обнаружения

Определение закона распределения выходной статистики

Для определения закона распределения реализуется статистический эксперимент, при котором многократно вычисляется достаточная статистика (2) при подаче на вход реализаций шума (1). Полученные значения статистики используются для построения вариационного ряда, который записывается в виде таблицы частот в пределах между минимальным и максимальным экстремальными значениями с разбиением на заданные интервалы [1, с. 136]. Графически вариационный ряд можно представить в виде полигона частот (гистограммы), т. е. количества попаданий значений статистики в заданные интервалы, отнесенных к объему выборки.

По виду полигона частот делается предположение о виде распределения достаточной статистики. В рассматриваемом случае статистики (2) предполагается, что она распределена по закону Рэлея:

$$p(Z_3) = \frac{Z_3}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{Z_3^2}{2\sigma^2}\right), Z_3 \geq 0, \quad (3)$$

где $\sigma^2 = \frac{D_{\text{ш}}}{2 - \pi/2}$ — параметр масштаба, определяемый дисперсией $D_{\text{ш}}$ статистики.

На основании этого реализуется проверка статистической гипотезы по критерию согласия χ^2 Пирсона [1, с. 149].

Статистика критерия вычисляется по формуле:

$$\chi^2 = N \sum_i \left(\frac{(n_i - P_i)^2}{P_i} \right), \quad (4)$$

где n_i — частоты попадания значений выборки в i -ый интервал;

P_i — теоретическая вероятность попадания случайной величины, распределенной по предполагаемому закону, в i -ый интервал.

Теоретическая вероятность попадания случайной величины Z_3 рассчитывается по формуле:

$$P_i = \Delta \cdot p(Z_{3i}), \quad (5)$$

где Z_{3i} — значение статистики в середине i -го интервала;

$p(Z_{3i})$ — теоретическая плотность вероятности статистики Z_3 в i -ом интервале, полученная по формуле (3) и оценке параметра распределения σ^2 , рассчитанной по выборке размерностью N .

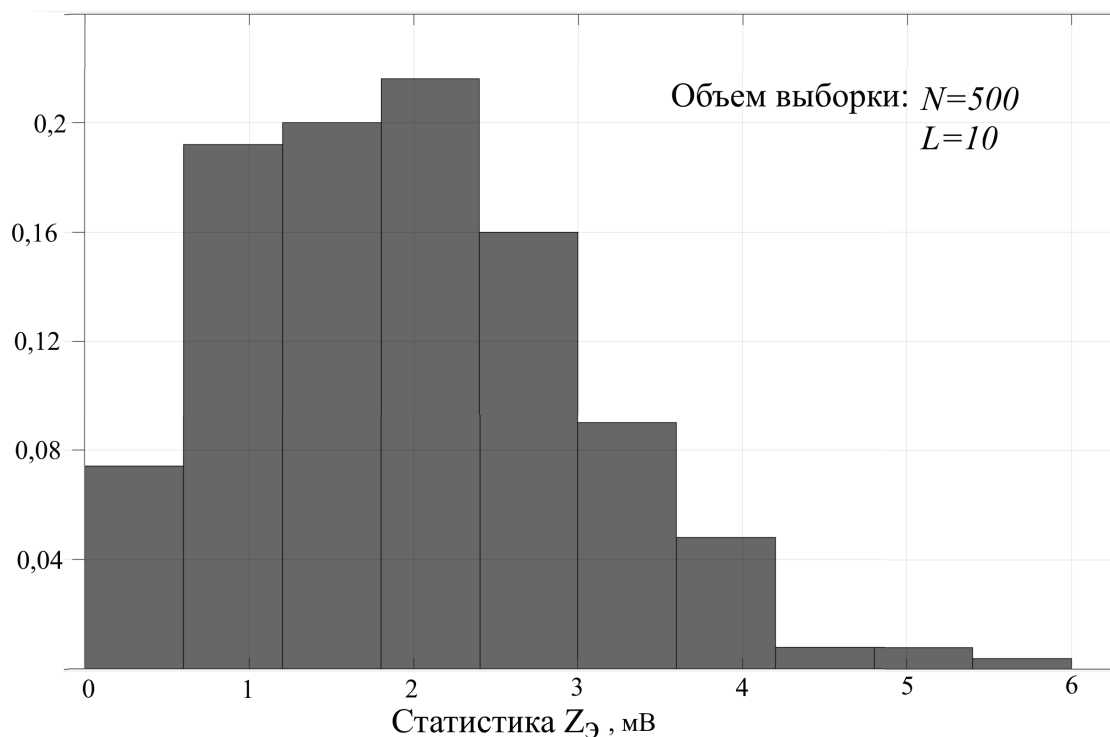


Рис. 2. Полигон частот выборки значений достаточной статистики Z_3 по шуму

Очевидно, что чем меньше разница между n_i и P_i , тем меньше величина критерия χ^2 . Тем ближе эмпирическая плотность распределения к теоретической. Поэтому вычисленное значение критерия (4) сравнивается с критическим $\chi^2_{кр}$, которое определяется уровнем значимости α и числом степеней свободы

$$K = L - 1 - r, \quad (6)$$

где L — количество интервалов разбиения;

r — количество параметров предполагаемого распределения.

Для выбранного закона распределения Рэлея $r=1$, при $L=10$, $K = 8$.

Критическое значение $\chi^2_{кр}$ табулировано, и равно 15,5 при заданных K и уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Текущее значение χ^2 вычисляется по (4), с учетом значений, полученных по формулам (3,5) при ширине интервала 0,06. Для указанных значений параметров и размерности $N=2000$ получаем $\chi^2 = 8,28$.

Таким образом, $\chi^2 < \chi^2_{кр}$, следовательно нулевая гипотеза H_0 о подчинении статистики Z_3 закону распределения Рэлея не отвергается при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

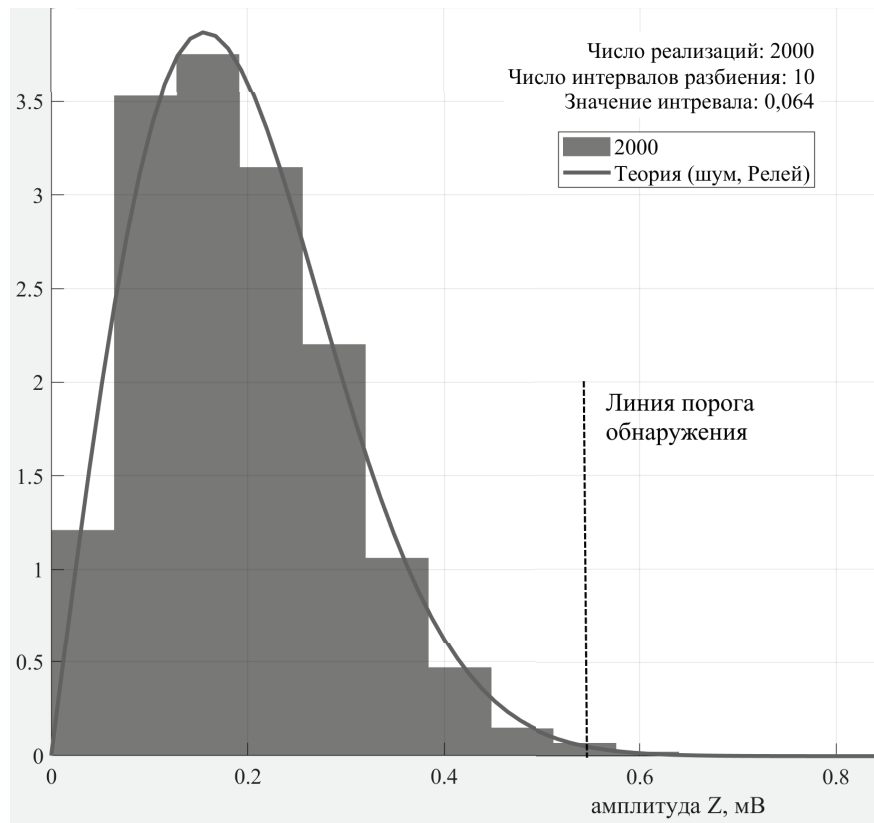
Эмпирическая и теоретическая плотности распределения статистики Z_3 по шуму при определенных выше условиях показаны на рис. 3.

Расчет порога обнаружения

В соответствие с известным критерием Немана-Пирсона [2, с. 84] качество обнаружения оценивается по величине условной вероятности правильного обнаружения $D_{пр}$ при фиксированном значении условной вероятности ложной тревоги $F_{лт}$, которая в свою очередь рассчитывается по известной плотности распределения достаточной статистики и заданному порогу обнаружения $z_{пор}$ [2, с.100]:

$$F_{лт}(z_{пор}) = \int_{z_{пор}}^{\infty} p_{ш}(Z) dZ, \quad (7).$$

В рассматриваемом случае $p_{ш}(Z)$ соответствует выражению (3), из которого методом обратной функции может быть получено выражение для порога $z_{пор}$ (рис. 3). Он зависит от установленного значения $F_{лт}$, оценки параметра распределения $\hat{\sigma}^2$, полученной по имеющейся выборке значений статистики Z_3 и имеет следующий вид:

Рис. 3. Эмпирическая и теоретическая плотности распределения статистики Z

$$z_{\text{пор}}(\hat{\sigma}, P_{\text{ЛТ}}) = \hat{\sigma} \cdot \sqrt{-2 \ln(P_{\text{ЛТ}})}, \quad (8).$$

Следует отметить, что значения $F_{\text{ЛТ}}$ задаются достаточно малыми (10^{-3} – 10^{-8}), поэтому оценка $D_{\text{пр}}$ должна производиться при размерности выборки не менее величины обратной значению $F_{\text{ЛТ}}$. На практике, современные мощности вычислительных средств позволяют работать с большими объемами данных, поэтому для повышения точности оценок $N_{\text{выб}}$ выбирается из условия:

$$N_{\text{выб}} \geq 10 \frac{1}{F_{\text{ЛТ}}}, \quad (9).$$

Выводы

Таким образом, расчет порога принятия решения для оценки показателей качества обнаружения может производиться по изложенной выше методике на основании выборки достаточной статистики ограниченной размерности, с использованием методов проверки статистических гипотез при заданном значении условной вероятности ложной тревоги и полученной оценки параметра закона распределения. Данная методика применима для любых законов распределения и с успехом применяется авторами в процессе своей научной работы в области радиолокации и радиопеленгации.

Литература:

1. Вентцель, Е. С. Теория вероятности / Е. С. Вентцель. — М.: Наука, 1969. — 576 с. — Текст: непосредственный.
2. Теоретические основы радиолокации / Под ред. Ширмана Я. Д. Учебное пособие для вузов — М.: Советское радио, 1970. — 560 с. — Текст: непосредственный.

Особенности унификации наземного технологического оборудования универсального наземного технологического комплекса 14П510 подготовки перспективных космических аппаратов разработки АО «Решетнёв»

Кулик Сергей Сергеевич, инженер
Космодром «Плесецк» (Архангельская область)

В статье исследованы тенденции развития универсального наземного технологического комплекса (УНТК) подготовки космического аппарата (КА). Раскрыт его состав, назначение основных составных частей. Проанализированы достоинства и недостатки разработанного ранее и используемого в настоящее время УНТК. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего «совершенствования УНТК КА».

Ключевые слова: комплект монтажно-технологического оборудования, КМТО, наземное технологическое оборудование, НТО, космический аппарат, КА, технический комплекс, ТК.

Военно-политическая обстановка в мире, существующие планы создания средств выведения и орбитальных средств нового поколения выдвигают перед системой эксплуатации космических средств не только задачи сохранения имеющейся космической инфраструктуры и обеспечения запусков и управления космического аппарата (КА) существующими средствами, но и требования по дальнейшему развитию технической, функциональной и организационной структур системы эксплуатации космических средств в интересах повышения готовности и обороноспособности страны. Возрастают требования к этапу отработки системы эксплуатации перспективных ракетно-космических комплексов (РКК).

Исходя из потребностей обороны, планов развития космических средств, экономических возможностей и научно-производственного потенциала страны основным направлением развития системы эксплуатации космических средств является сокращение состава ракетно-космической техники как по номенклатуре (типажу), так и по количеству за счёт дальнейшего совершенствования ее тактико-технических и эксплуатационно-технических характеристик, унификации, комплексирования задач и внедрения новейших технологий.

Целью проведения исследования на космодроме «Плесецк» было определение возможности использования инфраструктуры космодрома и объёма необходимых работ для обеспечения подготовки изделий 14Ф113 (КА «Глонасс-М»), 14Ф143 (КА «Глонасс-К»), 14Ф160 (КА «Глонасс-К2»). Данные космические аппараты являются изделиями высокой заводской готовности и имеют высокую степень взаимной унификации с другими КА производства АО РЕШЕТНЕВ. На космодроме создан УНТК 14П510 обеспечивающий подготовку КА «Меридиан» 14Ф112 производства АО РЕШЕТНЕВ. Рассмотрим возможность использования НТО ТК 14П510 для подготовки перспективных КА 14Ф113, 14Ф143, 14Ф160.

УНТК 14П510 предназначен для приёма и подготовки изделий 14Ф113 (КА «Глонасс-М»), 14Ф143 (КА «Глонасс-К»), 14Ф160 (КА «Глонасс-К2») к штатной эксплуатации.

Состав УНТК 14П510:

- комплект механо-технологического оборудования (КМТО) 14Н121;
- унифицированный комплект проверочного оборудования (УКПО) 14Н626;
- заправочная станция 11Г143;
- сооружения и системы специальные 317/3–14.

Рассмотрим подробно состав КМТО 14Н121 и определим особенности этого комплекта, которые позволяют проводить подготовку к штатной эксплуатации КА 14Ф112, 14Ф113, 14Ф143, 14Ф160.

1. Кантователь 14Ф113.7110–0 предназначен для перевода КЛ из горизонтального положения в вертикальное и обратно. Универсальность его достигается следующим:

- запасом по грузоподъёмности (до 5 т), что позволяет использовать кантователь для разных классов КА, а также для сборки пакетов КА;
- поворотная платформа (план-шайба) — позволяет использовать одну ферму обезвешивания панелей БС 14Ф113.7290–0 для установки пакетов панелей БС на противоположных плоскостях и стапель, обеспечивающий доступ к изделию только с одной стороны;
- кантователь при необходимости может передвигаться по рельсам, что позволяет регулировать расстояние от изделия до стенда и осуществлять подготовку изделий различных габаритов.

2. Стапель 14Ф113.7140–0 предназначен для обеспечения доступа к изделию во время его подготовки к пуску. Следующие особенности его конструкции позволяют использовать его при подготовке любых типов КЛ:

- стапель не охватывает изделие со всех сторон, а прижимает к нему;
- площадки при необходимости могут выдвигаться, для сокращения расстояния до изделия;
- на выдвижных площадках могут быть раскрыты дополнительные площадки на разной высоте;
- высота стапеля допускает подготовку КА разных классов.

3. Колонны 14Ф113.7350–0 предназначены для обеспечения доступа к местам изделия, которые не доступны

Таблица 1. Состав КМТО 14Н121

№ п/п	Наименование	Количество	Примечание
1	Кантователь 14Ф113.7110–0	1	
2	Стапель 14Ф113.7140–0	1	
3	Манипулятор 11Т045.08	1	Заимствуется из ТК «Эридан»
4	Комплект подъемного оборудования для штанги и панелей батарей солнечных (БС) 14Ф112.7310–0.	1	
5	Комплект приспособлений для работ с КА 14Ф 112.7320–0.	1	
6	Комплект подъемного оборудования для штанги и панелей БС 14Ф113.7310–0.	1	
7	Комплект приспособлений для работ с КА 14Ф113.7320–0.	1	
8	Комплект средств обслуживания 17Ф15М.7340–0	1	
9	Стенд автономных испытаний панелей БС 17Ф15М.7250–0	1	
10	Стенд автономных испытаний штанги БС 17Ф15М.7270–0	1	
11	Подъёмник 14Ф113.7130 (телескопические тележки)	3	
12	Ферма обезвешивания панелей БС 14Ф113.7290–0	1	
13	Кантователь пакетов БС 14Ф113.7280–0	1	
14	Траверса 17Т42.0000–0–02.	1	Заимствуется из КМТО 16НК5
15	Траверса 11Т020.0031.	2	Заимствуется из КМТО 16НК5
16	Колонна 14Ф 113.7350–0.	2	
17	Подставка 14Ф113.7360–0.	1	
18	Стойка 14Ф113.7180–0	3	
19	Комплект приспособлений для работ с КА 14Ф 143.7320–0.	1	

Таблица 2. Состав УКПО 14Н626

№ п/п	наименование	примечание
1	Оборудование пневмо-вакуумных испытаний	
2	Оборудование для проверок СЭП	
3	Оборудование для электрических проверок	
4	Оборудование для заправки ДУ 14Д519	
5	Оборудование для механо-сборочных и транспортировочных работ	
6	Автоматизированная система контроля аппарата (АСКА-ТК)	

со стапеля 14Ф113.7140–0 без его поворота, а также для обеспечения доступа к такелажным узлам при установке и снятии изделия на кантователь 14Ф113.7110–0. Применение данных колонн позволило:

- отказаться от классической конструкции стапеля с громоздкими поворотными площадками, охватывающими изделие со всех сторон;
- обеспечить доступ к любым местам КА любых типов без ограничений;
- оптимизировать ТК для выполнения работ на различных этапах подготовки КА благодаря возможности перемещать колонны.

Таким образом, совместное использование кантователя 14Ф113.7110–0, стапеля 14Ф113.7140–0 и двух колонн 14Ф113.7350–0 позволяет создать РМ подготовки КА без привязки к его габаритам и массе, что делает его универсальным.

4. Манипулятор 11Т045.08 заимствуется из ТК «Эридан» и используется для установки блока хранения и применения (БХП) на изделие. БХП на всех КА производства АО РЕШЕТНЕВ унифицированы.

5. Комплект подъемного оборудования для штанги и панелей БС 14Ф112.7310–0 обеспечивает:

- обезвешивание, перенос в горизонтальном и вертикальном положении пакетов панелей БС 14Ф112.0140–0–02(03) К А «Меридиан»;
- обезвешивание и перенос штанги БС 14Ф112.0130–0 КЛ «Меридиан»;
- работы с пакетами БС 14Ф112.0140–0–02(03) на стенде автономных испытаний панелей БС 17Ф15М.7250–0 (комплект монтажных частей 7310–1000);
- работы со штангами БС 14Ф112.0130–0 на стенде автономных испытаний штанг БС 17Ф15М.7250–0 (комплект монтажных частей 7271–0).

6. Комплект подъемного оборудования для штанги и панелей БС 14Ф113.7310–0 обеспечивает проведение тех же работ, что и комплект подъемного оборудования для штанги и панелей БС 14Ф112.7310–0, только с изделием 14Ф113.

7. Комплект приспособлений для работ с КА 14Ф112.7320–0 предназначен для такелажных работ с изделием 14Ф112 и его комплектующими на ТК НПЗ

10. При работах с изделием 14Ф112 совместно с комплектом приспособлений для работ с КА 14Ф112.7320–0 используется приспособления из комплекта приспособлений для работ с КА 14Ф113.7320–0, а также приспособления для работ с КА 14Ф160.7320–0. Приспособление 727.7132–0 из состава комплекта предназначено для погрузки (перегрузки) контейнеров 154.9490–000, 766.9420–0 с изделием и без него, а также контейнеров подобного класса.

8. Комплект приспособлений для работ с КА 14Ф113.7320–0 предназначен для такелажных работ с изделием 14Ф113 и его комплектующими на ТК 14П510.

9. Комплект приспособлений для работ с КА 14Ф143.7320–0 предназначен для такелажных работ с изделием 14Ф143 и его комплектующими на ТК 14П510.

10. Комплект приспособлений для работ с КА 14Ф160.7320–0 предназначен для такелажных работ с изделием 14Ф160 и его комплектующими на ТК 14П510.

11. Комплект средств обслуживания 17Ф15М.7340–0 представляет собой передвижные площадки и может использоваться с любым типом КА.

12. Кантователь пакетов БС 14Ф113.7280–0 предназначен для перевода пакетов панелей БС из горизонтального положения в вертикальной при подготовке изделий 14Ф113, 14Ф112. При подготовке кантователя к работе с изделием на кантователь устанавливаются кронштейны соответствующие панелям БС, используемых на данном изделии. Например: при подготовке КА 14Ф112 используется комплект монтажных частей 7310–1200 из состава комплекта подъемного оборудования для штанги и панелей БС 14Ф112.7310–0.

13. Стенд автономных испытаний (АИ) панелей БС 17Ф15М.7250–0 предназначен для проведения осмотра и ЛИ панелей БС. Конструкция стенда позволяет использовать его при подготовке панелей БС различных размеров, но требует предварительной подготовки (переборки). При подготовке стенда к работе также используются соответствующие комплекты монтажных частей. Например: при подготовке КА 14Ф112 используется комплект монтажных частей 7310–1000 из состава комплекта подъемного оборудования для штанги и панелей БС 14Ф112.7310–0.

14. Стенд автономных испытаний штанги БС 17Ф15М.7270–0 предназначен для проведения осмотра и АИ штанг БС. Конструкция стенда позволяет использовать его при подготовке штанг БС различных размеров, но требует предварительной подготовки (переборки). При подготовке стенда к работе также используются соответствующие комплекты монтажных частей. Например: при подготовке КА 14Ф112 используется комплект монтажных частей 7271–0 из состава комплекта подъемного оборудования для штанги и панелей БС 14Ф112.7310–0.

15. Продольная траверса 17Т42.0000–0–02 и поперечные траверсы 11Т020.0031 (2 шт.) заимствуются из КМТО 16ИК5 и используются для переноса К А в горизонтальном положении.

При сборке такелажной схемы для переноса КА 14Ф112 используется комплект приспособлений для работ с КА 14Ф112.7320–0. При сборке такелажной схемы для переноса КА 14Ф113, КА 14Ф143 и КА 14Ф160 используется также комплекты приспособлений для работ с КА 14Ф113.7320–0, 14Ф143.7320–0 и 14Ф160.7320–0 соответственно.

16. Стойки 14Ф113.7180–0 (3 шт.) предназначены для установки теодолитов.

17. Подъемники 14Ф113.7130 (3 шт.) предназначены для работы с теодолитами, когда они установлены на стойки 14Ф113.7180–0.

18. Ферма обезвешивания панелей БС 14Ф113.7290–0 предназначена для подготовки изделий 14Ф113, 14Ф112.

На основании проведенного анализа все оборудование из состава КМТО 14Н121 можно разделить на три группы:

Первая — оборудование общего назначения, не привязанное к конкретному изделию:

1. Кантователь 14Ф113.7110–0.
2. Стапель 14Ф113.7140–0.
3. Колонна 14Ф113.7350–0 (2 шт.).
4. Стойка 14Ф113.7180–0 (3 шт.).
5. Подъемник 14Ф113.7130 (3 шт.).
6. Манипулятор 11Т045.08.
7. Комплект средств обслуживания 17Ф15М.7340–0.
8. Ферма обезвешивания панелей БС 14Ф113.7290–0.

Вторая — оборудование специального назначения, предназначенное для работы с конкретным изделием:

1. Комплект подъемного оборудования для штанги и панелей БС 14Ф112.7310–0.
2. Комплект приспособлений для работ с КА 14Ф112.7320–0. *
3. Комплект подъемного оборудования для штанги и панелей БС 14Ф113.7310–0.
4. Комплект приспособлений для работ с КА 14Ф113.7320–0.
5. Подставка 14Ф113.7360–0.
6. Комплект приспособлений для работ с КА 14Ф143.7320–0.
7. Комплект приспособлений для работ с КА 14Ф160.7320–0.

Некоторые элементы всё же заимствуются при подготовке других изделий.

Третья — изначально универсальное оборудование, особенности конструкции которого в сочетании с комплектами монтажных частей (поставляются отдельно и входят в состав комплекта подъемного оборудования для штанги и панелей БС соответствующего изделия) обеспечивают подготовку различных КА:

1. Стенд автономных испытаний панелей БС 17Ф15М.7250–0
2. Стенд автономных испытаний штанги БС 17Ф15М.7270–0.
3. Кантователь 14Ф113.7280–0.

Первая и третья группы включают в себя всё крупногабаритное, а, следовательно, и наиболее дорогостоящее

оборудование, и не привязаны к конкретному изделию, т. е. универсальны.

Оборудование второй группы обеспечивает работы с конкретным изделием и может переноситься вручную.

Благодаря такому подходу обеспечена возможность подготовки изделий 14Ф112, 14Ф113, 14Ф143, 14Ф160 и выполнено требование к ТК 14П510 указанному в Техническом задании 14П510.Т3410–19000–04 п.2.4 разд. 2 «Разрабатываемый УНТК должен допускать дальнейшее его использование с минимальным дооборудованием для подготовки изделий подобного типа».

Литература:

1. Инструкция по подготовке на техническом комплексе 14Ф112 ИЭ10 ч.2.
2. Подготовка на ТК. Транспортирование и перегрузка. 14Ф112 ИЭ12 ч.2 кн.1.
3. Подготовка на ТК и СК. Инструкция по транспортированию и перегрузке. 14Ф113 ИЭ12 ч.2 кн.3.
4. Работа с механическими устройствами БС. 14Ф112 ИЭ14 ч.2 кн.3.
5. УНТК 14П510. Инструкция по подготовке к работе, приведению в готовности, поддержанию в готовности и снятию с готовности. 14П510 ИЭ 3.
6. УНТК 14П510. Техническое описание. 14П510 ТО.
7. Комплект механо-технологического оборудования 14Н121. Инструкция по эксплуатации. ИЭ14Н121 ИЭ.
8. Комплект механо-технологического оборудования 14Н121. Техническое описание. 14Н121 ТО.
9. Унифицированный комплект проверочного оборудования 14Н626. Инструкция по эксплуатации. 14Н626 ИЭ.
10. Исходные данные на проведение рекогносцировочных работ на объектах космодрома «Плесецк» в целях обеспечения подготовки и запуска КА 14Ф143.
11. Исходные данные на проведение рекогносцировочных работ на объектах космодрома «Плесецк» в целях обеспечения подготовки и запуска КА 14Ф160.

Добавим, что создание такого универсального технического комплекса стало возможным благодаря высокой унификации КЛ производства АО РЕШЕТНЕВ.

Вывод

Конструктивные особенности УНТК 14П510 и высокая унификация перспективных КА производства АО РЕШЕТНЕВ позволяют обеспечить подготовку КА 14Ф112, 14Ф113, 14Ф143, 14Ф160 на ТК 14П510 при минимальном объеме доработок.

Терминология в профессиональной деятельности (на примере специальности «Технология продуктов питания из растительного сырья»)

Лакомова Ксения Евгениевна, студент
Елецкий государственный университет имени И. А. Бунина (Липецкая область)

Профессиональная деятельность в области технологии продуктов питания из растительного сырья требует глубокого понимания специализированной терминологии. Эта терминология является основой для коммуникации, обмена знаниями и эффективного выполнения рабочих задач.

Ключевые слова: терминология, технология, продукты питания.

Актуальность темы обусловлена необходимостью формирования у будущих специалистов глубокого понимания профессионального языка, что является залогом их успешной деятельности.

Задачи:

1. Определить понятие и функции профессиональной терминологии.
2. Выявить специфику терминологии в рассматриваемой специальности.
3. Привести примеры ключевых терминов и объяснить их значение.
4. Рассмотреть проблемы развития терминологии в отрасли.

Профессиональная деятельность в любой сфере немыслима без использования специализированного языка — терминологии. Терминология представляет собой совокупность терминов, используемых в определенной области знаний или деятельности, и является фундаментом для эффективной коммуникации, точного понимания процессов, явлений и объектов, а также для передачи и сохранения профессионального опыта. Отсутствие четкой и унифицированной терминологии может привести к недопониманию, ошибкам в работе, снижению качества продукции и даже к аварийным ситуациям.

Профессиональная терминология (термины и профессионализмы) выполняет следующие функции:

1. Информативная. То есть, она помогает более точно объяснить значение процессов, явлений, происходящих в различных сферах деятельности.

2. Коммуникативная. Обеспечивает взаимопонимание специалистов в процессе профессиональной деятельности.

3. Замещающая. Термины позволяют упростить и более лаконично изъяснить мысль.

Особенно актуально изучение терминологии для таких сложных и многогранных областей, как пищевое производство. Специальность «Технология продуктов питания из растительного сырья» охватывает широкий спектр знаний — от агрономии и биохимии до инженерии и маркетинга. В этой сфере постоянно появляются новые технологии, виды сырья, методы обработки и контроля, что требует непрерывного обновления и систематизации терминологического аппарата.

Основные категории терминов:

1. Сырье и ингредиенты. К этой категории относятся названия различных видов растительного сырья (зерновые, бобовые, масличные, плодоовощные культуры, крупки), а также ингредиентов, используемых в процессе производства (добавки, ферменты, кислоты);

2. Технологические процессы. Здесь представлены термины, описывающие этапы обработки сырья, такие как экстракция, ферментация, экструзия, сушка, консервирование, смешивание;

3. Оборудование и аппаратура. Категория охватывает названия машин, аппаратов и устройств, используемых в производстве (мельницы, сепараторы, реакторы, сушильные установки, вальцовые станки, силосы, ситовые машины, смесители, триер);

4. Показатели качества и безопасности. Термины, связанные с определением характеристик готовой продукции (влажность, температура, заражённость, кислотность, качество клейковины, стекловидность, содержание жира, засоренность);

5. Нормативная документация. К ней относят: названия стандартов, кондиций, технических регламентов и других документов, регулирующих производство и качество продуктов питания.

Примеры терминов, используемых в пищевом производстве, и их значения:

Автоматизация — это замена физического и умственного труда человека, затрачиваемого на контроль и управление производственными процессами, приборами и автоматизированными устройствами, что даёт возможность осуществлять эти процессы без участия человека[1].

Блокчейн это — цифровой реестр, необходимый для эффективного взаимодействия процессов сельскохозяй-

ственного комплекса, отслеживания и проверки перемещения товаров и обеспечивающий прозрачность цен и издержек.

Вальцовый станок — это измельчающая машина, используемая в процессе производства муки, основным рабочим органом которой являются парноработающие вальцы, врашающиеся навстречу друг к другу с разными скоростями.

Засоренность — это процентное содержание в зерновой массе примесей различных видов.

Кондиции — это нормы качества, в которые включены только самые важные показатели.

Крахмальная патока — это продукт неполного гидролиза крахмала разбавленными кислотами или амилолитическими ферментами[2, с. 107].

Крупа — ценный пищевой продукт, содержащий полезные питательные вещества, отличающиеся высокой усвояемостью и хорошими потребительскими свойствами[2, с.19].

Самосортирование — это способность зерновой массы терять однородность при перемещении и в свободном падении.

Стекловидность зерна — это показатель, который характеризует структуру и плотность эндосперма зерна.

Триер — это зерноочистительная машина, которая освобождает зерно от примесей, отличающихся от зёрен основной культуры длиной.

Шлифование — это удаление с поверхности целого ядра оставшихся плодовых, а также частично семенных оболочек и зародыша[2, с. 25].

«Сила муки» — это способность муки образовывать тесто, обладающее определенными физическими свойствами [2, с. 42].

Несмотря на все преимущества, профессиональная терминология сталкивается с рядом проблем:

1. Некорректный выбор специальных слов. В некоторых случаях сложно подобрать термин, правильно отражающий новое знание.

2. Многозначность терминов. С этой проблемой можно столкнуться, работая в нескольких сферах деятельности.

3. Расхождения в использовании терминов учёными из разных стран.

Термины обладают сжатым информационным содержанием — одно слово может выражать сложную идею, которую в обычной речи потребовалось бы объяснять несколькими предложениями. Владение профессиональной терминологией является неотъемлемым навыком для специалистов в области технологии продуктов питания из растительного сырья, обеспечивая эффективную профессиональную коммуникацию и успешную работу в данной сфере.

Литература:

1. В. Д. Ершов, Е. И. Корчагина. Технология и организация производства продуктов питания. — Санкт-Петербург: ГИОРД, 2016. ¾ 8с.
2. И. А. Прокопенко. Технология обработки, хранения и производства продуктов питания из сырья растительного происхождения. — Севастополь: СевГу, 2023.

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

Принципы преобразования городского пространства для минимизации негативных последствий стихийных бедствий

Жылкаманов Айдын Айбекулы, студент магистратуры

Научный руководитель: Есенов Хвайдолла Иванович, доцент, ассоц. профессор

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University) (г. Алматы, Казахстан)

Статья посвящена принципам трансформации городского пространства с целью минимизации ущерба от стихийных бедствий. В качестве примера рассматривается город Алматы, подверженный разрушительным землетрясениям, селевым потокам и оползням [1]. Проанализирован международный опыт повышения устойчивости городов к природным катаклизмам, включая современные подходы в градостроительстве и планировании территорий. Выделены ключевые принципы устойчивого градостроительства — интеграция оценки рисков в городское планирование, развитие устойчивой инфраструктуры и экосистемный подход, — которые позволяют снизить уязвимость городской среды. Предлагаются практические рекомендации по преобразованию городской территории и инфраструктуры для повышения способности города противостоять стихийным бедствиям и обеспечению безопасного и устойчивого развития.

Ключевые слова: устойчивое развитие городов, трансформация городского пространства, снижение риска стихийных бедствий, градостроительное планирование, сейсмическая безопасность, резилиентность городов, экосистемный подход.

Введение

Рост городов и изменение климата приводят к повышению частоты и масштабов стихийных бедствий, создавая новые вызовы для городского развития. Города являются двигателями развития стран, однако история показывает, что стихийные бедствия способны дезорганизовать жизнь городских центров [2]. Особую актуальность приобретает вопрос интеграции механизмов снижения рисков бедствий в практику градостроительства. Алматы — крупнейший город Казахстана с населением свыше 1,5 млн человек — служит показательным примером: город расположен в сейсмоопасной зоне и регулярно сталкивается с угрозами землетрясений и селевых потоков [1]. Убытки от природных катастроф в этом регионе исчисляются десятками миллионов долларов [1], что подчёркивает необходимость стратегических действий по повышению устойчивости городской среды. В этой связи данная статья ставит целью определить принципы преобразования городского пространства, позволяющие снизить негативные последствия стихийных бедствий, опираясь на опыт Алматы и лучших международных практик.

Основная часть

Особенности Алматы

Географическое положение и историческая застройка Алматы обусловили уязвимость города к ряду природных угроз. Сейсмическая активность в регионе способна вызывать разрушительные землетрясения, примером чего является Верненское землетрясение 1887 года (силой ~10 баллов), уничтожившее значительную часть тогдашнего города [3]. Кроме того, горный рельеф и ледниковые озёра в окрестностях приводят к периодическим селевым потокам. Катастрофический сель 1921 года фактически превратил значительную часть города в руины, унеся жизни более 500 человек [3]. В 1963 году в результате прорыва горного озера произошёл мощный сель, приведший к человеческим жертвам и подтолкнувший власти к принятию срочных мер защиты [4]. В последующие годы была реализована масштабная инженерная защита: возведение высокогорной селезащитной плотины «Медеу» (строительство начато в 1964 г.) позволило укротить селевые потоки — дамба успешно задержала сель объёмом ~5,3 млн м³ в 1973 году, предотвратив уни-

чтожение нижележащей части города [3]. Этот пример демонстрирует, что продуманная трансформация городского пространства (в данном случае — строительство защитного сооружения) способна существенно снизить ущерб от природных явлений. Тем не менее, несмотря на реализованные меры, Алматы по-прежнему остаётся в числе наиболее подверженных стихийным бедствиям городов региона [1]. Плотная застройка, исторические районы с уязвимыми зданиями и развитие на склонах усиливают риски. Для минимизации последствий катастроф требуется комплексный подход, сочетающий инженерные решения с обновлением градостроительных нормативов и учётом природных факторов при планировке территории.

Международный опыт

Мировая практика выработала ряд принципов, на основе которых города преобразуют своё пространство во имя устойчивости и безопасности. Во многих странах внедряется градостроительное планирование, основанное на оценке рисков: данные о зонах затопления, сейсмической опасности и иных угрозах интегрируются в генеральные планы и правила землепользования. Например, в Японии жёсткие строительные нормы и стандарты сейсмостойкости обязательны к исполнению, что существенно уменьшает разрушения при землетрясениях. Согласно международным рекомендациям, необходимо предотвращать застройку в наиболее опасных местах — поймах рек, крутых склонах, зонах оползней [2]. Опыт показывает, что соблюдение разумных строительных норм и планирование использования земель являются эффективными методами снижения уязвимости городов [2]. При грамотном контроле за соблюдением нормативов здания и инфраструктура способны выдерживать воздействие природных угроз, значительно сокращая число жертв и объём ущерба. Замечено, что повышение прочности и устойчивости зданий не требует чрезмерных затрат: например, усиление конструкции здания для сейсмоустойчивости может увеличить стоимость строительства лишь на 1–5 % [2], что является незначительной ценой за безопасность. Международные инициативы, такие как кампания ООН «Мой город готов!» и Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий (2015–2030 гг.), подчеркнули необходимость учитывать риски бедствий на всех этапах городского развития. Города внедряют системы раннего оповещения, разрабатывают планы эвакуации и создают резервные коммуникации, интегрируя эти меры в городскую инфраструктуру. В ряде мегаполисов (например, Стамбул, Сан-Франциско) реализуются программы обновления и сейсмической ретрофитинг старого жилищного фонда, что снижает вероятность обрушения построек при толчках. Использование природных решений также стало частью международной практики: сохранение и восстановление городских экосистем (парков,

водно-болотных угодий) помогает создать буфер против паводков, тепловых волн и оползней [2]. Урбанизация без учёта экосистемных связей может приводить к дестабилизации окружающей среды — например, освоение пойм и вырубка зелёных зон усиливают угрозу наводнений и оползней [2]. Поэтому за рубежом всё чаще реализуется принцип «Building Back Better» — восстановление и развитие города после бедствий с повышением его устойчивости, а не возвращение к уязвимому статус-кво.

Наглядным примером инновационного подхода служит опыт Малайзии: в Куала-Лумпуре построен многоцелевой туннель SMART, который сочетает транспортную функцию с дренажной — в нормальное время используется как автомобильный туннель, а при угрозе наводнения служит каналом для отвода паводковых вод [5]. Этот инженерный проект за первые три года эксплуатации предотвратил по меньшей мере семь крупных затоплений в городе [5]. Подобные решения иллюстрируют принцип мультифункциональности инфраструктуры, когда городские пространства и сооружения выполняют сразу несколько задач, включая защиту от чрезвычайных ситуаций. Международный опыт демонстрирует, что сочетание строгих норм строительства, рационального планирования территории, экосистемного подхода и современных технологий раннего предупреждения позволяет существенно повысить устойчивость городов к ударам природы.

Практические рекомендации

На основе анализа опыта Алматы и зарубежных городов можно сформулировать ряд рекомендаций по преобразованию городской среды с целью минимизации последствий стихийных бедствий. Во-первых, **интеграция оценки рисков** должна стать обязательной частью градостроительства. Необходимо регулярно обновлять карты опасностей (сейсмических разломов, зон возможного затопления, склонов с риском оползней) и учитывать их при выделении территорий под застройку и инфраструктуру. Запрет или ограничение строительства в наиболее опасных зонах следует закрепить нормативно; там, где город уже занят в уязвимых местах, требуется реализовывать программы переселения либо инженерной защиты.

Во-вторых, **укрепление нормативной базы строительства** играет ключевую роль. Следует пересмотреть и усилить строительные нормы с учётом актуальных рисков: обеспечить сейсмостойкость новых зданий, применяя современные технологии (сейсмоизоляторы, демпферы), и предусмотреть устойчивость конструкций к наводнениям и ветровым нагрузкам. Строгое соблюдение стандартов должно контролироваться городскими властями; для этого важно повышать квалификацию специалистов и информировать застройщиков и население о важности требований безопасности [2]. Дополнительно город может стимулировать устойчивое строительство эконо-

мическими мерами — например, предоставлять льготы и субсидии на усиление старых сооружений или применение инновационных решений.

В-третьих, необходимо развивать **критическую инфраструктуру и системы защиты**. Городская инфраструктура (дороги, мосты, системы водоснабжения, электросети) должна проектироваться с расчётом на экстремальные воздействия, чтобы в случае бедствий сохранять работоспособность. Рекомендуется создать дублирующие и резервные системы (альтернативные источники электроснабжения, запасы воды, резервные маршруты транспорта) на случай повреждений основных сетей. В Алматы, например, целесообразно продолжить модернизацию сейсмически уязвимых объектов — школ, больниц, жилых домов советской постройки — через программы усиления и реконструкции. Наряду с этим следует поддерживать работоспособность уже существующих защитных сооружений (плотин, дренажных систем) и при необходимости возводить новые: опыт показал, что такие проекты, как плотина Медеу, спасают город от катастрофических последствий селевых ударов.

В-четвёртых, **экосистемный и планировочный подход** подразумевает, что зелёные зоны и природные ландшафты интегрируются в общегородскую систему защиты. Необходимо беречь лесопарковый пояс в предгорьях, реки и естественные водоотводы, а также создавать парки и водопроницаемые пространства внутри города. Зелёные насаждения на склонах укрепляют грунт и снижают риск оползней, а городские парки и открытые площади могут служить зонами задержания воды при ливнях, предотвращая мгновенное затопление жилых кварталов. Планируя расширение города, важно сохранять баланс между застройкой и природной средой, чтобы не создавать новых факторов риска [2].

Наконец, **организация системы управления рисками** должна быть частью городской политики. Речь идёт о налаженном механизме подготовки к ЧС: регулярное информирование и обучение населения действиям при бедствиях, проведение учений, развитие системы раннего оповещения (например, сейсмологических датчиков, сирен оповещения о селях). Власти города должны иметь планы экстренного реагирования

и ресурсы на случай крупной катастрофы, включая материальные резервы и обученные службы спасения. Вовлечение местных сообществ и бизнеса в мероприятия по устойчивости тоже необходимо: создание культуры безопасности, когда жители знают о рисках и участвуют в их уменьшении, значительно повышает эффективность всех технических мер.

Применение перечисленных рекомендаций в комплексе позволит градоустройственно трансформировать Алматы и другие города таким образом, чтобы свести к минимуму ущерб от стихийных бедствий. Ключевым принципом является переход от реагирования на катастрофы к **превентивному планированию**: вложения в упреждающие меры и устойчивую инфраструктуру окупаются сохранёнными жизнями, экономией на ликвидации последствий и стабильностью развития города.

Заключение

Устойчивое развитие современных городов невозможно без учёта рисков природных катастроф. Проведённый анализ показал, что преобразование городского пространства с целью минимизации последствий стихийных бедствий требует сочетания научно обоснованных подходов и политической воли. На примере Алматы видно, что город, сталкивающийся с множеством угроз, может существенно повысить свою защищённость через модернизацию инфраструктуры, ужесточение строительных нормативов и бережное отношение к окружающей среде. Международный опыт дополняет эту картину, предлагая проверенные решения — от сейсмоустойчивого строительства до использования экосистем в качестве естественных барьеров. Главный вывод состоит в том, что проактивное и комплексное планирование, интегрирующее принципы снижения риска бедствий, способно превратить уязвимый городской ландшафт в **резилиентную** (устойчивую) среду, готовую противостоять ударам стихии. Реализация предложенных принципов и рекомендаций послужит залогом того, что города будущего станут безопаснее, а их развитие — более гармоничным и долговечным, несмотря на вызовы природы.

Литература:

1. Сарсембаев М. А. Снижать риски чрезвычайных ситуаций в городе Алматы посредством финансов и законов // Вестник Института законодательства Республики Казахстан. — 2015. — № 2 (38). — С. 67–74.
2. МСУОБ ООН (Международная стратегия уменьшения опасности бедствий). Повышение устойчивости городов к бедствиям: Справочник для руководителей муниципалитетов и местных органов власти. — Женева: ООН, 2012. — 104 с. (рус. изд., всемирная кампания «Мой город готовится», 2010–2015 гг.)
3. Оползни и сели: стихийные бедствия, оставившие след в истории Алматы [Электронный ресурс] // Sputnik Казахстан. — 08.02.2024. — URL: <https://ru.sputnik.kz/20240208/opolzni-i-seli-stikhiynye-bedstviya-ostavivshie-sled-v-istorii-almaty-42157657.html> (дата обращения: 27.01.2026).
4. Медеу (селезащитная плотина) [Электронный ресурс] // Википедия. — URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Медеу_\(селезащитная_плотина\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Медеу_(селезащитная_плотина)) (дата обращения: 27.01.2026).
5. Hassan H. KL's SMART tunnel keeps it flood-free // The Straits Times. — 2010. — 21 July.

Современные технологии устройства вентилируемого фасада

Исправников Сергей Борисович, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье автор исследует технологию монтажа и конструктива современных вентилируемых фасадов.

Ключевые слова: строительство, реконструкция, фасады.

Навесная фасадная система с воздушным зазором (НФС) представляет из себя конструктив элементов и материалов, смонтированных на внешней поверхности наружных стен здания, в соответствии с рабочей документацией.

НФС состоит из металлической конструкции, теплоизоляционного слоя, гидрозащитной мембраны и финишной облицовки. Теплоизоляционный слой и гидрозащитная мембрана сопровождаются теплотехническим расчетом и указываются в рабочей документации. Устройство навесных фасадных систем выполняется согласно СП 48.1330.2011 и СНиП 3.03.01–87 необходимо соблюдать все установленные требования.

Для установки вентиляционной системы применяют леса, а в качестве инструмента по доставке материала на строительной площадке к месту проведения работ — башенный кран.

Перед установкой системы разбивают здание на отдельные секции. НВФ установка происходит вертикально с делением работ на захватки по сторонам света (юг, север, восток, запад). Захватывая вещи сверху вниз, является отметка на фасаде начинается с нулевого уровня и заканчивается на кровле здания.

Монтаж НФС производится текст говорит о том, что для эффективной работы необходимо использовать последовательные или параллельные технологические процессы.

Заботиться — это забота о собственном здоровье. Нельзя пренебрегать своим физическим и психическим благополучием, ведь здоровье — это основа счастья и успеха. Необходимо следить за правильным питанием, заниматься спортом, отдыхать, чтобы быть всегда в отличной форме. помнить при устройстве НВФ.

- Расстояние между лесами;
- Устанавливать места крепления лесов согласно будущим направляющим НВФ.
- Необходимо обеспечить защиту утеплителя от влаги.

На старте работ по устройству НВФ необходимо выполнить:

- Удаление с фасада подтёков;
- Удаление неровности на поверхности бетона или остатки клея от кирпичной кладки.

Перед установкой системы необходимо проверить качество бетона и отсутствие выступающей арматуры.

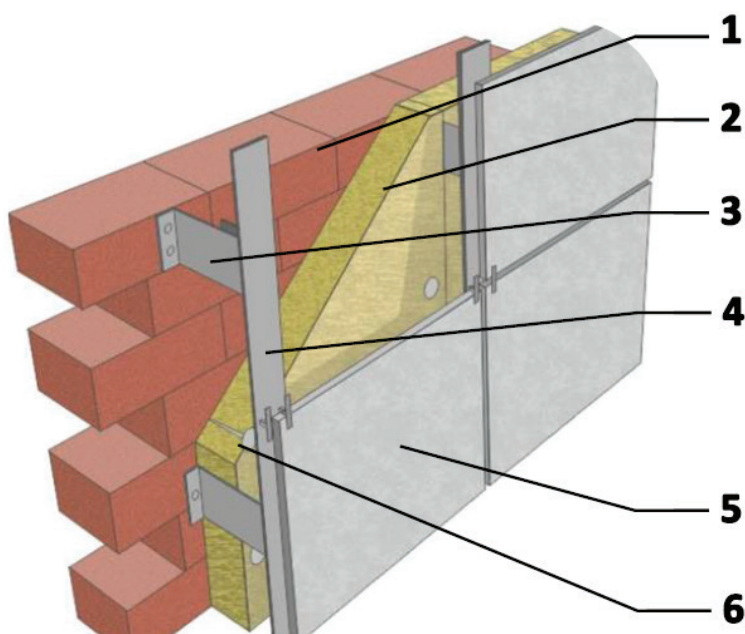


Рис. 1. Общий вид системы. 1 — Основание; 2 — Теплоизоляционный слой, на котором располагаются кронштейны, направляющие и облицовочный материал.; 6 — Анкер с тарельчатым дюбелем

При выявлении нестандартных дефектов на стенах здания, проектная компания принимает решение о дальнейших действиях по установке системы пожарной безопасности.

Необходимо продолжать установку системы без остановки, иначе провести укрытие гидрозащитной мембраны для утеплителя

Основные операции при устройстве вентилируемого фасада

Технологическая последовательность операций:

1. Разметка осей подконструкции и установка кронштейнов;
2. Монтаж теплоизоляционных плит;
3. Установка направляющих;
4. Монтаж облицовочного материала;
5. Урасстановка элементов системы противопожарной безопасности..

1. Разметка осей подконструкции и установка кронштейнов

Разметка осей для подконструкции НФС следует выполнять, учитывая тот факт, что высока вероятность смещения относительно проектных расчетов, а также смещения линий разметки для крепежных элементов по месту установки кронштейнов на стену здания.

Нанесение разметки наносится в соответствии с рабочей документацией кронштейнов, а также шаг установки кронштейнов. В рабочем проекте отображается: материал при расчете нагрузки на несущую поверхность, учитывается вес облицовочного материала, эксплуатационные особенности данной навесной фасадной системы.

После разметки, на стене монтируют дюбеля для кронштейнов.

Монтаж кронштейнов и вертикальных профилей начинается снизу и продвигается вверх.

Монтаж кронштейна выполняют с его установки и закрепления его анкерными соединениями. Необходимо осознавать, что монтаж креплений необходимо выполнять с применением шайбы для обеспечения терморазрыва.

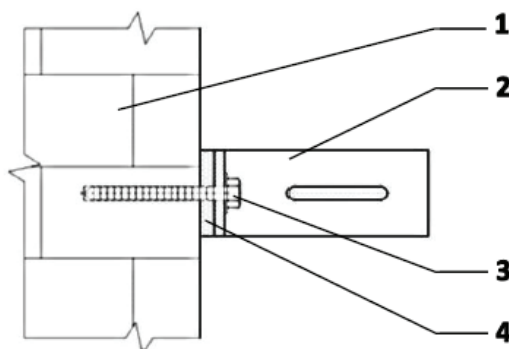


Рис. 2. Монтаж кронштейна к основанию

Нужно прочесть и пересказать текст, в котором описаны четыре элемента: строительное основание, кронштейн, анкер с шайбой и гайка. Терморазрыв.

2. Монтаж теплоизоляционных плит

Монтаж теплоизоляционных плит разрешается выполнять сразу после установки кронштейнов началась работа.

В НФС обычно выполняется предлагается использовать минераловатные плиты для утепления одно- или двух-слойной конструкции. рабочей документацией.

Следует учитывать, что при монтаже теплоизоляции в два слоя нужно гарантировать перекрытие стыков плит внутреннего и наружного слоев на толщину теплоизоляции. При варианте для внутреннего слоя лучше использовать плиты с низкой плотностью, а для наружного слоя — с высокой плотностью при утеплении.

Для минераловатных плит важна толщина наружного слоя. должна составлять 50 мм. При двухслойной теплоизоляции важно обеспечить тесное прилегание к стенам здания.

Монтаж начинают выполнять, начиная с нижнего ряда, то есть снизу вверх.

Необходимо соблюдать схему укладки теплоизоляционного слоя.

Категорически запрещено выполнять монтаж по утеплению путем перегиба плит теплоизоляции можно изменить угол. Крепление плит к основанию выполняется с помощью пластмассовых дюбелей тарельчатого типа с распорными

дюбелями из металла, а для закрепления плит внутреннего слоя утеплителя используются два дюбеля, а для наружного слоя — пять.

При монтаже изоляционного материала важно соблюдать определенные правила:

- расстояние между стеной и утеплителем.
- зазор м/д ронделью и плитой утеплителя;
- поврежденные плиты.
- плиты размером менее 200х300 мм;
- использование материалов, не предусмотренных для монтажа, таких как пенопласт, монтажная пена, пакля и другие, может негативно повлиять на процесс установки.

В навесных фасадных системах с воздушным зазором, поверхность плит, обращенная наружу, обычно не нуждается в дополнительной защите. ветро-гидрозащитными применение мембран на объекте обуславливается расчетами, учитывающими высоту здания, направление ветра, воздушный зазор и требования к сопротивлению. воздухопроницанию необходимо установить теплоизоляционный слой с соблюдением требований пожарной безопасности. ветро- гидрозащитной мембраны следует:

- нанесение мембраны сверху утеплителя — необходимая процедура.;
- необходимо установить мембрану натянутой, прикрепив ее к стене специальными анкерами через утеплитель.;
- выполнить с учетом перехлеста друг на друга расстояние между соседними полотнами должно быть не менее 150 мм, а шаг установки также следует учитывать. закрепите анkers с дюбелями на расстоянии от 500 до 1000 мм в местах перекрытия.

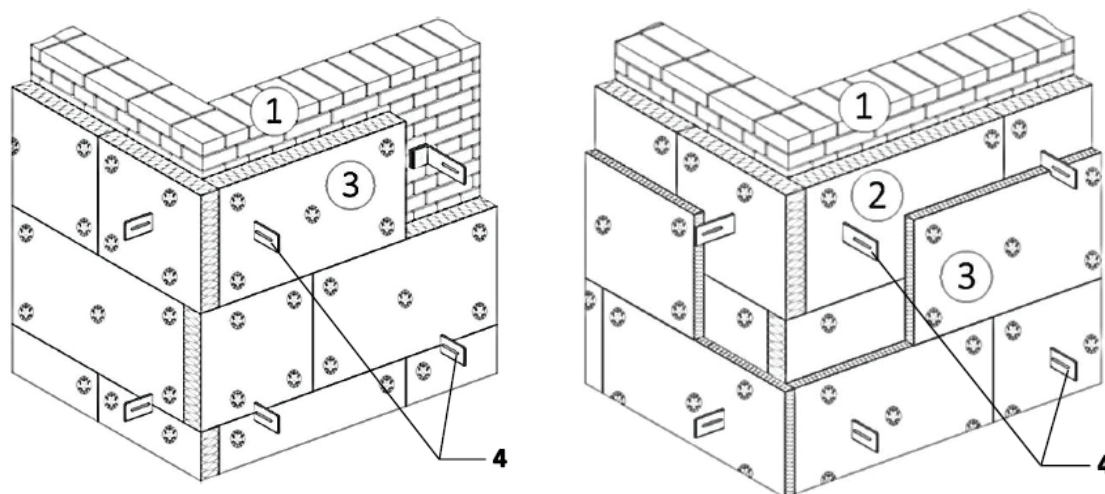


Рис. 3. Схема укладки при однослойном и двуслойном утеплении

На строительном основании укреплены теплоизоляционные плиты внутреннего и наружного слоев, а также кронштейны для поддержки конструкции.

3. Установка направляющих

Для компенсации температурных деформаций необходимо устанавливать направляющие с зазором, как вертикальные, так и горизонтальные.

Стальные направляющие нужно крепление должно быть надежным, с алюминиевыми деталями, способными компенсировать деформации при изменении температуры. Это можно сделать через овальные отверстия или дополнительные элементы, жестко закрепленные к кронштейну и подвижно к направляющей.

Необходимо проверить положение каждой направляющей в вертикальной плоскости с помощью теодолита или отвеса.

При установке направляющих не допускается:

- мы должны заменить направляющие с повреждениями и вырезать в них пазы.;
- установка должна проводиться с учетом температурного зазора между направляющими.
- изменить расположение направляющих относительно кронштейнов в проекте не рекомендуется.
- монтаж НФС каркасов производится путем натяжения или изгиба, чтобы создать начальное напряжение в элементах.

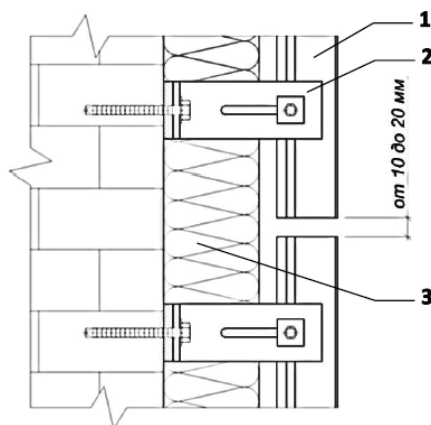


Рис. 4. Установка направляющих. Перечислены три элемента: направляющая, кронштейн и теплоизоляция

4. Монтаж облицовочного материала (защитно-декоративного экрана)

После завершения установки направляющих производится монтаж элементов облицовки фасада.

Для создания защитно-декоративного экрана лучше использовать различные материалы, такие как плиты, панели, кассеты или листовые материалы с разными текстурами. скрытым используются различные материалы для крепления: керамические, керамогранит, натуральный или агломерированный камень. фиброцементныеизготовление деталей из различных материалов, таких как металл, металл-композиты, однослойный и многослойный пластик.

Хорошее качество и надежность, чтобы обеспечить долгий срок службы и красивый внешний вид здания. физико необходимо выбирать облицовочные материалы для НФС с учетом их прочности, морозостойкости и сохранности декоративных свойств. Критерии пригодности материалов и их крепления к стенам должны соответствовать пожарным требованиям и определяться исходя из результатов испытаний.

При монтаже облицовки важно выбрать надежный способ крепления, чтобы избежать вибраций и ослабления соединения во время эксплуатации.

Необходимо устанавливать элементы облицовки с зазорами между ними для компенсации их расширения. термо-компенсационными необходимо обеспечить свободное перемещение элементов и исключить возможность возникновения температурных напряжений. Размеры швов и отверстий должны соответствовать расчетной схеме. Величина зазора между элементами определяется эстетическими и конструктивно-технологическими требованиями.

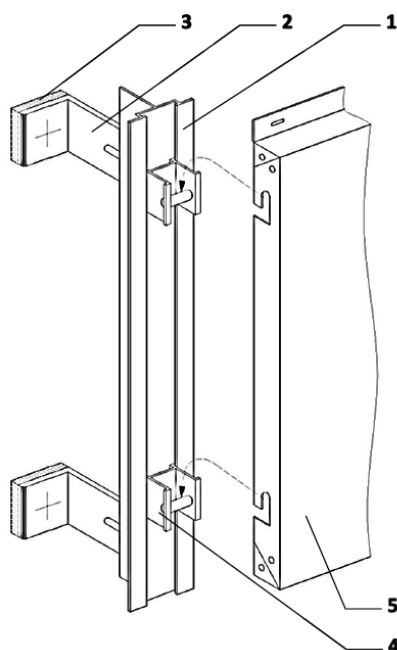


Рис. 5. На рисунке показан процесс установки отделочного материала. 1 — направляющая, 2 — кронштейн, 3 — терморазрывфиксирующий элемент № 4 и облицовочная кассета № 5

5. Вывод. Достоинства и недостатки НВФ

В вентилируемых фасадах важна возможность изменения дизайна и материалов, а также их применение для реновации зданий, испытывающих проблемы с фасадом или нуждающихся в обновлении.

Еще один плюс вентфасада установка вентилируемого фасада помогает улучшить энергоэффективность дома за счет утепления стен снаружи. Это позволит сохранить тепло зимой и охладить помещение летом..

Возможности установки в любое время года и долгом сроке службы до 50 лет. В отличие от фасадов с «мокрыми» процессами, вентилируемый фасад не требует монтажа зимой. современные облицовочные материалы защищают стены от погодных условий, обладают высокой технологичностью, удобны в монтаже и могут скрывать дефекты фасада. Они также обеспечивают повышенную тепло- и звукоизоляцию и сочетаются с различными архитектурными стилями..

Преимущество вентфасада изменяя материалы, можно регулировать стоимость строительства дома. Для бюджетного варианта можно использовать дешевую облицовку и деревянную обрешетку, не утеплять или утеплить слоем 50 мм. Для улучшения энергоэффективности лучше использовать навесную фасадную систему с утеплителем 100 и 150 мм..

Необходимо помнить о возможных недостатках данного подхода. вентфасад утепления фасада можно отнести потенциальную усадку изоляционного слоя, проникновение влаги через зазоры обшивки и появление посторонних звуков при сильном ветре. вентфасадов высокая трудоемкость в строительстве связана с дополнительными расходами на материалы и монтаж каркаса.

Основные проблемы возникают из-за неправильного выбора материала и неправильного монтажа. Например, важно подбирать облицовочный материал в зависимости от типа стены, так как тяжелые панели плохо монтируются на каркасные стены. фиброцементный для дома сайдинга не рекомендуется использовать кирпич или камень для облицовки, но можно использовать виниловые панели под кирпич или камень. Для каменного дома таких ограничений нет.

Ошибка часто происходит из-за неправильного выбора пленки, которая защищает утеплитель. Если пленка не подходит, то утеплитель будет задерживать влагу, а не пропускать, что может привести к повреждению стен.

Большая ошибка при монтаже вентфасада — закрывать зазор внизу и сверху. Вентилируемый фасад на то и вентилируемый, что у него должен быть свободный доступ воздуха снизу и свободный выход сверху. Если вентзазор где-то перекрыт, будет происходить влагонакопление. Сам «пирог» вентилируемого фасада не будет работать. При монтаже винилового сайдинга его нельзя крепить намертво. У него должна быть возможность расширения и сжатия. Это тоже частая ошибка.

Литература:

1. Дятков, С. В. Архитектура промышленных зданий / С. В. Дятков, А. П. Михеев. — Москва: АСВ, 2004, 2008.
2. Маклакова, Т. Г. Архитектура / Т. Г. Маклакова, С. М. Нанасова, В. Г. Шарапенко [и др.]. — Москва: АСВ, 2004.
3. Маклакова, Т. Г. Конструкции гражданских зданий: учеб. для вузов / Т. Г. Маклакова, С. М. Нанасова. — Москва: Изд-во АСВ, 2002.
4. Каминский, В. П. Строительное черчение: учеб. / В. П. Каминский, О. В. Георгиевский, Б. В. Будасов. — 6-е изд., перераб. и доп. — Москва: Архитектура-С, 2004.
5. Благовещенский, Ф. А. Архитектурные конструкции: учеб. / Ф. А. Благовещенский, Е. Ф. Букина. — Стер. изд. — Москва: Архитектура-С, 2007.
6. Кутухтин, Е. Г. Конструкции промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений / Е. Г. Кутухтин, В. А. Коробков. — Москва: Архитектура — С, 2007.

Внедрение цифровых технологий информационного моделирования для прогнозирования износа промышленных полов

Клячев Никита Михайлович, студент магистратуры

Научный руководитель: Селезнева Жанна Владимировна, кандидат экономических наук, доцент

Самарский государственный технический университет

В статье исследуется методология внедрения технологий информационного моделирования (BIM и Digital Twin) для создания прогнозной модели износа промышленных полов. Предложена многоуровневая структура информационной модели, интегрирующая геометрические данные, физико-механические свойства материалов, данные датчиков мониторинга в реальном времени и данные о нагрузках. Практическая апробация методики проведена на объекте складского

логистического комплекса. Результаты показали повышение точности прогноза момента необходимого ремонта на 25–30 % и экономию затрат на 15–20 %.

Ключевые слова: информационное моделирование, BIM, цифровой двойник, прогнозирование износа, промышленные полы, жизненный цикл здания, машинное обучение.

Современные промышленные и коммерческие объекты предъявляют высокие требования к надежности и долговечности строительных конструкций, особенно к элементам, подверженным интенсивному механическому воздействию. Покрытия полов складов, производственных цехов, торговых центров и транспортных узлов являются критическим активом, от состояния которого зависит безопасность, бесперебойность технологических процессов и, в конечном итоге, экономическая эффективность объекта [1]. Традиционные подходы к оценке их состояния, основанные на визуальном осмотре и регламентных сроках замены, часто приводят либо к преждевременному износу и аварийным ситуациям, либо к необоснованным затратам на досрочный ремонт.

Цифровая трансформация строительной отрасли, выражающаяся во внедрении технологий информационного моделирования (BIM) и концепции цифрового двойника (Digital Twin), открывает новые возможности для управления объектами на протяжении всего жизненного цикла [2]. Если BIM-модель на этапе эксплуатации часто служит статичным репозиторием данных, то цифровой двойник, понимаемый как динамическая виртуальная копия физического объекта, связанная с ним данными в реальном времени, предполагает создание модели, способной к анализу, симуляции и прогнозированию [3].

Целью данного исследования является разработка и апробация методики применения цифровых технологий информационного моделирования для создания предиктивной модели износа покрытий полов, позволяющей перейти от планово-предупредительного к предиктивному обслуживанию на основе данных.

Предлагаемая методология строится на создании многослойной информационной модели, которая является ядром цифрового двойника покрытия пола. Данная модель структурно состоит из четырех взаимосвязанных логических слоев.

1. Геометрический и информационный слой (BIM-основа). Модель создается на основе исполнительной документации или данных лазерного сканирования. В модель заносится информация о материалах покрытия с указанием конкретных марок, сертифицированных в соответствии с действующими стандартами [4].

2. Слой нагрузок и воздействий. В модель вносятся исторические и плановые данные:

- Тип, интенсивность и динамический характер транспортных потоков.
- Воздействие химических реагентов и температурно-влажностного режима.

3. Слой мониторинга в реальном времени. Интеграция данных с IoT-датчиков, установленных в кри-

тических зонах (тензометры, акселерометры, датчики влажности).

4. Аналитико-прогнозный слой (цифровой двойник). На основе данных предыдущих слоев строится гибридная математическая модель износа, сочетающая физически обоснованные уравнения и алгоритмы машинного обучения [5].

Алгоритм работы модели реализуется по следующей последовательности:

- 1) сбор и агрегация данных из BIM-модели и датчиков;
- 2) предобработка и верификация данных;
- 3) прогнозирование интенсивности износа для каждой зоны;
- 4) генерация отчетов и визуализация результатов;
- 5) формирование автоматических оповещений для службы эксплуатации.

Методология была апробирована на объекте — распределительном логистическом центре площадью 12 000 м² с бетонным полом. На основе лазерного сканирования была создана точная BIM-модель пола с зонированием по интенсивности движения. В ключевых точках были установлены вибродатчики. Данные о ремонтах за 5 лет послужили тренировочной выборкой для алгоритма. В течение 12 месяцев модель функционировала в тестовом режиме.

Результаты:

– **Точность прогноза.** Модель корректно спрогнозировала необходимость локального ремонта в зонах высокого риска за 2–3 месяца до появления критических дефектов. Погрешность в оценке остаточной толщины покрытия составила менее 8 %, что на 25–30 % точнее, чем прогноз по традиционному нормативному методу.

– **Экономический эффект.** Благодаря точному прогнозу удалось оптимизировать графики ремонта, сократить время простоя на 40 часов. Затраты на текущий ремонт были снижены на 18 % от годового бюджета за счет адресного вмешательства.

– **Качественное улучшение процессов.** Произошел переход от субъективной оценки инженера к объективным, основанным на данных рекомендациям. Сформирована цифровая история эксплуатации покрытия.

Таким образом, проведенное исследование демонстрирует практическую реализуемость и высокую эффективность применения технологий информационного моделирования и цифровых двойников для прогнозирования износа покрытий полов. Разработанная методика позволяет перейти к прогнозному управлению ресурсом, минимизировать операционные риски и оптимизировать затраты на техническое обслуживание в течение жизненного цикла объекта.

Литература:

1. Семенов В. А., Королев Е. В. Эксплуатационная долговечность бетонных полов с упрочненным поверхностным слоем // Строительные материалы. 2020. № 8. С. 44–49.
2. Гнездилов В. Г., Щеголев А. В. Цифровой двойник здания: от концепции к практике эксплуатации // Жилищное строительство. 2022. № 1–2. С. 58–63.
3. Петухов И. М., Соколов А. В. Интернет вещей в управлении эксплуатацией зданий и сооружений // Автоматизация в строительстве. 2021. № 3 (45). С. 22–29.
4. ГОСТ 31358–2019. Смеси сухие строительные напольные на цементном вяжущем. Технические условия. Введ. 2020–07–01. М.: Стандартинформ, 2019. 27 с.
5. Булгаков С. Н., Шейнин А. М. Прогнозирование износа бетонных покрытий полов промышленных зданий с использованием методов машинного обучения // Инженерно-строительный журнал. 2023. Т. 125, № 1. С. 85–96.

Сравнение современных технологий устройства силового пола промышленного здания по критериям «долговечность» и «стоимость»

Клячев Никита Михайлович, студент магистратуры

Научный руководитель: Селезнева Жанна Владимировна, кандидат экономических наук, доцент
Самарский государственный технический университет

В статье представлен аналитический обзор современных технологий устройства силовых полов промышленных зданий. Целью работы является структурирование научно-технических знаний для последующей разработки методики выбора оптимальной технологии на основе комплексного анализа долговечности и стоимости жизненного цикла. Проведен анализ российских и зарубежных исследований, нормативной базы и экономических моделей оценки. Выявлено отсутствие унифицированного подхода, учитывающего многофакторные условия эксплуатации и экономические параметры в долгосрочной перспективе. Определены перспективные направления исследований, включая разработку экономико-математической модели и цифровых инструментов поддержки принятия решений.

Ключевые слова: промышленные полы, силовой пол, долговечность, стоимость жизненного цикла, бетонные полы, полимерные покрытия, выбор технологии, нормативные требования, сравнительный анализ.

Промышленные полы (силовые полы) являются критически важным конструктивным элементом любого производственного, складского или логистического объекта. Их состояние напрямую влияет на бесперебойность технологических процессов, безопасность, скорость погрузочно-разгрузочных работ и, как следствие, на общую экономическую эффективность предприятия [1, с. 44]. В условиях высокой конкуренции и стремления к минимизации операционных расходов задача выбора технологии устройства пола, оптимально сочетающей высокие эксплуатационные характеристики (долговечность, износостойкость, ремонтпригодность) с экономической эффективностью на всем жизненном цикле, приобретает особую актуальность.

В настоящее время рынок предлагает широкий спектр технологий: от традиционных бетонных до высокотехнологичных полимерных и композитных систем. Однако отсутствие комплексной методики их сравнения, учитывающей взаимосвязь технических, эксплуатационных и стоимостных параметров, часто приводит к принятию субоптимальных решений, выражающихся либо в необоснованном завышении капитальных затрат, либо в высоких расходах на последующий ремонт и простой [2].

Данное исследование систематизирует современные знания в области технологий промышленных полов, анализирует существующие подходы к оценке их долговечности и стоимости, формулируя основу для дальнейших научных изысканий в данной области.

Объектом исследования выступают следующие основные классы технологий, применяемых в России и за рубежом: бетонные полы (обычные, с топпингом, фибробетонные), полимерные покрытия (эпоксидные, полиуретановые, ММА), полимерцементные композиции и высокопрочные упрочненные покрытия [3–4].

Долговечность промышленного пола — комплексный показатель, определяемый его способностью сохранять эксплуатационные свойства под воздействием совокупности факторов: механических, химических, температурно-влажностных и факторов, связанных с основанием [5, с. 54]. В российских исследованиях долговечность часто оценивается через критерии износостойкости, определяемой по ГОСТ Р 58875–2020. Однако, как отмечают специалисты, существующие нормативные документы регламентируют преимущественно начальные свойства материалов, в то время как методики прогнозирования

реального срока службы в конкретных многофакторных условиях разработаны слабо [6, с. 58].

Более корректным по сравнению с учетом лишь первоначальной стоимости является подход анализа стоимости жизненного цикла (Life Cycle Costing, LCC), учитывающий капитальные и эксплуатационные затраты, расходы на ремонт, простой и утилизацию [7]. В имеющихся исследованиях предложены частные модели сравнения, однако общим недостатком является слабая формализация связи между эксплуатационными факторами и таким ключевым для LCC параметром, как межремонтный срок службы [8].

Анализ литературы позволил выявить следующие проблемные зоны:

1. Отсутствие унифицированной комплексной методики выбора технологии пола, интегрирующей инженерный анализ долговечности и экономический LCC-анализ.

2. Дефицит достоверных данных о фактическом сроке службы различных систем в зависимости от совокупности эксплуатационных факторов.

3. Недостаточная проработка вопросов ремонтпригодности и сопоставимой оценки эффективности ремонтных технологий.

4. Слабое внедрение цифровых инструментов (BIM-моделирование, цифровые двойники) для прогнозирования износа и планирования ремонтов [9, с. 22].

Перспективным направлением представляется разработка экономико-математической модели, где долговечность (срок службы до капитального ремонта) будет функцией от прикладных нагрузок и выбранной технологии, что позволит оптимизировать решение на этапе проектирования. Создание программного модуля или веб-калькулятора на основе такой модели станет практическим инструментом для инженеров-проектировщиков и технических заказчиков.

Литература:

1. Иванов А. В., Михайлов С. П. Современные технологии промышленных бетонных полов с упрочненным верхним слоем // Строительные материалы. 2020. № 8. С. 44–49.
2. Корнев А. В., Ермаков Д. Ю. Оценка износостойкости бетонных промышленных полов // Бетон и железобетон. 2018. № 4. С. 32–37.
3. Лесовик В. С., Фомина М. А. Полимерцементные композиции для ремонта и защиты строительных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2021. № 6(106). С. 17–28.
4. Технологии устройства бесшовных полимерных полов: справочное пособие / под ред. В. Л. Теличенко. Москва: Изд-во АСВ, 2021. 320 с.
5. Баженов Ю. М., Корнев А. В. Специальные бетоны для промышленных полов: монография. Москва: АСВ, 2019. 180 с.
6. Соколов Б. В. Проблемы нормирования долговечности строительных конструкций // Жилищное строительство. 2022. № 1–2. С. 54–59.
7. Смирнов П. Н., Карпов А. А. Экономическая оценка жизненного цикла напольных покрытий промышленных зданий // Экономика строительства и природопользования. 2021. № 4(81). С. 63–70.
8. Голубев К. Л. Экономическая эффективность применения фибробетона в конструкциях промышленных полов // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 11(113). С. 98–102.
9. Петухов И. М., Соколов А. В. Интернет вещей в управлении эксплуатацией зданий и сооружений // Автоматизация в строительстве. 2021. № 3 (45). С. 22–29.

Пространственные особенности развития субурбии города Алматы в условиях агломерационного роста

Сапакова Куралай Гулямкадыровна, студент магистратуры

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University) (г. Алматы, Казахстан)

В статье рассматриваются особенности пространственного развития пригородных территорий города Алматы в условиях интенсивных агломерационных процессов. Анализируются основные факторы формирования субурбии, включая демографический рост, маятниковую миграцию, характер застройки и уровень обеспеченности инженерной и социальной инфраструктурой. Выявлены ключевые пространственные диспропорции, выражающиеся в опережающем развитии жилищного строительства по сравнению с инфраструктурным обеспечением, а также в высокой транспортной зависимости пригородного населения от центральной части города. Обоснована необходимость перехода к комплексному планированию пригородных территорий в рамках развития Алматинской агломерации.

Ключевые слова: *субурбия, агломерация, пространственное развитие, пригородные территории, Алматы, маятниковая миграция, городская среда.*

Введение

Современные процессы урбанизации характеризуются не только ростом численности населения в крупных городах, но и активным развитием прилегающих к ним пригородных территорий. Формирование агломераций становится доминирующей формой территориальной организации расселения, при которой усиливаются функциональные связи между городским ядром и периферийными зонами [1, с. 45].

В условиях Республики Казахстан данный процесс наиболее ярко проявляется в Алматинской агломерации, где наблюдается устойчивый рост населения, расширение городской застройки и трансформация ранее сельских территорий в жилые массивы городского типа [9].

Город Алматы в течение последних десятилетий демонстрирует интенсивное территориальное развитие, сопровождающееся включением дачных и сельских массивов в состав городской застройки. При этом темпы жилищного строительства во многих пригородных районах существенно опережают развитие транспортной, инженерной и социальной инфраструктуры, что приводит к формированию территорий с пониженным уровнем качества городской среды [4, с. 48].

Целью данной статьи является анализ ключевых пространственных характеристик формирования субурбии Алматы в условиях агломерационного роста и выявление факторов, определяющих специфику ее планировочной структуры и функционального развития.

Теоретические основы субурбанизации

Субурбанизация представляет собой процесс расселения населения и размещения городской застройки за пределами центральной части города при сохранении устойчивых трудовых, социально-бытовых и транспортных связей с городским ядром [5].

В классической модели, характерной для стран Западной Европы и Северной Америки, субурбия формируется как планируемая среда проживания со сбалансированным развитием жилья, рабочих мест и социальной инфраструктуры, а также высоким уровнем благоустройства.

В постсоциалистических городах процессы субурбанизации протекают в иных социально-экономических условиях и зачастую приобретают форму периферийной урбанизации. Для таких территорий характерны стихийная индивидуальная застройка, фрагментарная планировочная структура и слабое развитие инженерных сетей [6].

Существенную роль играет миграционное давление со стороны сельских регионов и ограниченная доступность качественного жилья в центральных районах, что сти-

мулирует заселение периферийных зон при отсутствии должной градостроительной подготовки.

Таким образом, субурбия в постсоветском контексте нередко формируется как зона социальной и инфраструктурной уязвимости, что обуславливает необходимость комплексного территориального планирования и координации развития на уровне агломерации [3].

Пространственные особенности развития субурбии Алматы

Формирование пригородных территорий Алматы характеризуется высокой долей индивидуальной жилой застройки, развивающейся преимущественно по экстенсивному типу. Низкая плотность застройки сочетается с высокой численностью населения, что приводит к неэффективному использованию территории.

Расширение административных границ города в 2014 году привело к включению в городскую черту значительных по площади территорий, ранее не обеспеченных городскими инженерными сетями и социальной инфраструктурой [9].

В результате новые жилые массивы оказались в условиях дефицита школ, детских садов, медицинских учреждений и объектов культурно-досугового назначения, что усилило социальную нагрузку на существующие учреждения.

Пространственная структура субурбии Алматы характеризуется монофункциональностью, при которой преобладает жилая функция при слабом развитии мест приложения труда. Это формирует устойчивые потоки маятниковой миграции в сторону центральных и деловых районов города [4, с. 49].

Планировочная фрагментарность выражается в отсутствии четко сформированных общественных центров и структурированных улично-дорожных сетей, что негативно отражается на доступности общественных пространств и формировании локальных сообществ.

Инфраструктурные и экологические ограничения

Одной из наиболее острых проблем субурбии Алматы является недостаточное развитие инженерной инфраструктуры. Во многих районах сохраняется использование автономных систем водоснабжения и канализации, а также индивидуальных отопительных устройств [8].

Это создает риски загрязнения почв и подземных вод и способствует росту выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, особенно в отопительный период.

Экологическая уязвимость пригородных территорий усугубляется их расположением в предгорных зонах

и вблизи водных объектов, что повышает риски подтоплений и селевых процессов.

Рост автотранспортных потоков, обусловленный маятниковой миграцией, является дополнительным фактором ухудшения качества воздуха и повышения уровня шума, снижая экологическую устойчивость городской среды.

Выводы

Развитие субурбии Алматы характеризуется опережающим ростом жилищной застройки по сравнению с раз-

витием инженерной, транспортной и социальной инфраструктуры.

Пространственная структура пригородных территорий отличается фрагментарностью, монофункциональностью и высокой транспортной зависимостью от городского ядра.

Сложившаяся модель развития способствует формированию социально и экологически уязвимых зон. Приоритетным направлением должно стать внедрение комплексного агломерационного планирования, ориентированного на синхронное развитие всех элементов городской среды.

Литература:

1. Ахмедов Т. К. Агломерационные процессы и развитие крупнейших городов Казахстана. — Алматы: КазГАСА, 2020.
2. Бочаров Ю. П. Градостроительство и территориальное планирование. — М.: Архитектура-С, 2018.
3. Глазычев В. Л. Урбанистика. — М.: Европа, 2011.
4. Каймулдинова К. Д. Пространственное развитие городской агломерации Алматы // Вестник КазНУ. — 2021. — № 4. — С. 45–51.
5. Knox P., McCarthy L. Urbanization: An Introduction to Urban Geography. — Pearson, 2018.
6. Stanilov K. The Post-Socialist City: Urban Form and Space Transformations. — Springer, 2007.
7. Трубина Е. Г. Город в теории: опыты осмысления пространства. — М.: Новое литературное обозрение, 2019.
8. UN-Habitat. World Cities Report. — United Nations, 2022.
9. Генеральный план города Алматы до 2040 года. — Алматы, 2023.
10. Стратегия развития Алматинской агломерации. — Алматы, 2022.

ГЕОЛОГИЯ

Enhanced oil recovery using low salinity water in carbonate rocks

Qasem Mohsen Mohammed Saleh
Ufa State Oil Technical University

Introduction

Oil recovery mechanisms can be broadly categorized into three stages: primary, secondary, and tertiary oil recovery. These stages have historically represented the sequential progression of reservoir production. Primary production, the initial stage, relies on the inherent displacement energy within the reservoir to extract oil. As primary production declines, the secondary mechanisms come into play. Traditionally, secondary recovery methods include water flooding, pressure maintenance, and gas injection. Nowadays, water flooding has become synonymous with secondary recovery tech-

niques. Tertiary recovery, the third stage, is implemented after water flooding. In cases where secondary recovery is no longer economically viable, tertiary recovery methods are employed. These methods encompass the use of miscible gases (such as carbon dioxide, hydrocarbon, or nitrogen), chemicals (including polymers, surfactants, and alkaline substances), thermal energy (in the form of cyclic steam, steam flooding, and in-situ combustion), as well as emerging approaches like Low-Salinity Water Injection (LSWI), all aimed at achieving enhanced oil recovery (EOR) [1]. Figure.1 shows the various recovery methods used throughout the duration of an oil reservoir's life.

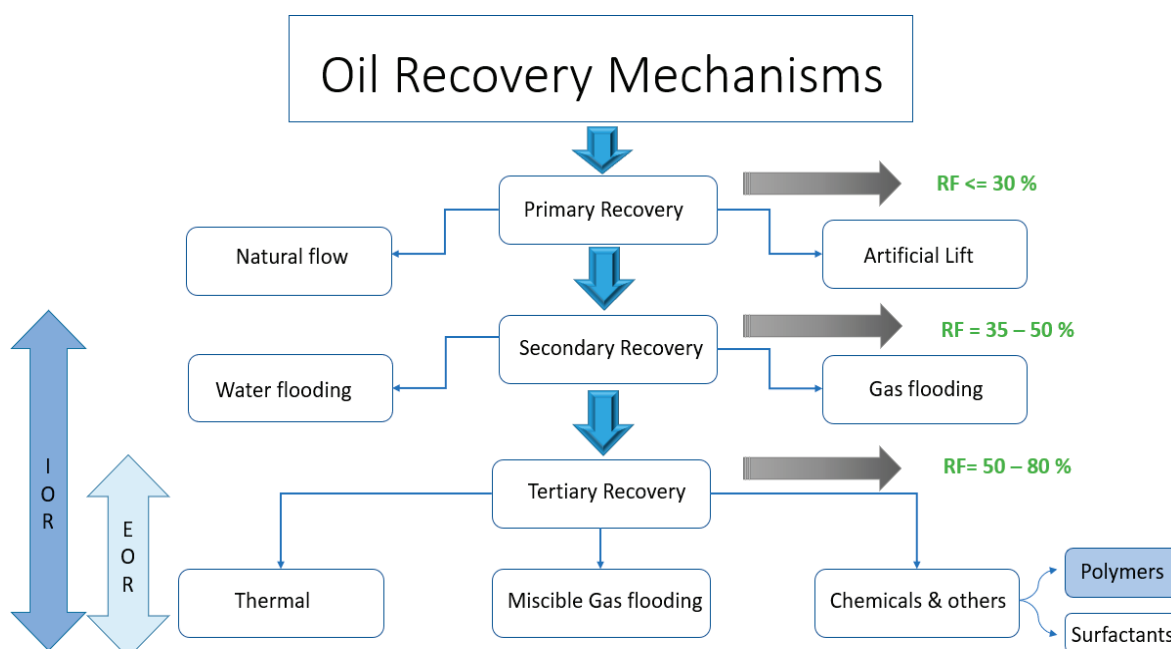


Fig. 1. Illustration of the different Oil recovery processes

Low salinity water (LSW) flooding, which includes brine dilution to lower the total salinity of the water flooding, has been found to be more effective than high salinity water recovery processes in improving oil recovery. In order (LSW)

flooding is an improved oil recovery process that includes injecting water with low soluble solids concentrations into a reservoir. Laboratory experiments have shown its potential for enhancing oil production. In contrast to traditional water in-

jection, Low salinity water (LSW) flooding would affect the wettability of reservoir rock to enhance the recovery of oil. It is often used as a tertiary oil recovery method and offers tremendous potential for oilfield development. The laboratory application into a core for salinity water injection was started in 1967 by Bernard. There was extensive laboratory scale research at that time. The number of experiments and studies has significantly increased. Many laboratory investigations have indicated that using low salinity water improves the recovery oil in both sandstone and carbonate reservoirs [3].

Factors influencing the low salinity process

Key Factors Affecting the Low Salinity Process as a result, under certain conditions, low salinity water may effectively improve oil recovery. The following are the specified parameters for identifying low-salinity impacts: (1) Reservoir lithology, such as clay minerals, especially kaolinite, was found in the formation. However, there was no sign that the absence of clay had a positive effect on the clastics. (2) Composition of Crude Oil: There are polar components in crude oil, but there is no advantage to using depolarized or synthetic oils. The wettability of rock may be altered by surface-active substances that exist naturally, such as resins or asphaltenes [4]. (3) Connate Water Presence: During LSW injection, oil recovery is heavily affected by the initial characteristics of the reservoir, especially the saturation of the connate water, the salinity of the connate water, and the physical properties of the rock [5]. (4) The Divalent Ion Content of formation Water: For carbonate cores, clastic need the presence of divalent ions Mg^{+2} , Ca^{+2} , and So_4^{-2} . In lab tests, injection of divalent ion-rich brines was observed to stop oil production [4].

Proposed mechanisms for low salinity water (LSW)

The process behind enhanced oil recovery through LSW flooding in carbonates is relatively easier to comprehend than that in sandstones, since most authors agree on wettability changes. Austad and colleagues conducted significant research that demonstrated the feasibility of adjusting wettability and improving oil recovery from carbonate rocks by changing the ionic content of the water injection [6].

Interaction between Rock and Fluid: Wettability Alteration

Carbonates are often thought of as oil-wet substances. This is because, at pH levels lower than 8–9, the surfaces of carbonates are positively charged. The presence of carboxylic, stearic, and fatty acids gives crude oil a negative charge, which attracts carbonates at the COBR interface and causes oil-wetting. Altering the wettability of carbonates from oil-wet to water-wet is favorable for IOR [6]. Electrostatic interactions, there are two distinct wettability-altering processes associated with the electrostatic interaction in the DVLO-affected carbonate (COBR): 1) multivalent ionic exchange (MIE); 2) expansion double layer (EDL) [7].

1) Multivalent Ionic Exchange (MIE)

Wettability modification is the main and more preferable approach for increasing the recovery of oil in carbonate rocks using low salinity water (LSW) flooding [2]. The modification of the wettability phenomena may be caused by a change there in surface charge of the rock as a consequence of organic material desorption or dissolution [4]. The increased sulphate attraction toward the surface of carbonate with increasing temperature was found to be the cause of sulphate catalytic activity at high temperatures. The increase in sulphate attraction instantly alters the rock charge from positive to negative, creating carboxylic group repulsion and turning the structure water-wet. The addition of cationic surfactants and sulphates reduces interfacial tension and alters wettability. Consequently, increasing the system's temperature not only decomposes the carboxylic group but also enhances sulphate adsorption on the surface of rock, hence improving water retention. They indicated that the advantage of sulphate as a wettability modifier has restrictions based on the temperature and salinity of the initial brine, since the concentration of Ca^{2+} in the connate brine must be recognized with certainty to avoid $CaSo_4$ precipitating [7].

Injecting water with So_4^{-2} , Mg^{2+} , and Ca^{2+} at 90 °C may change carbonate rocks' wettability. Figure.2 shows both hypothesized processes for modifying carbonate rock wettability. It was assumed by the authors that when temperatures increase, sulphate becomes more attracted to the rock surface,

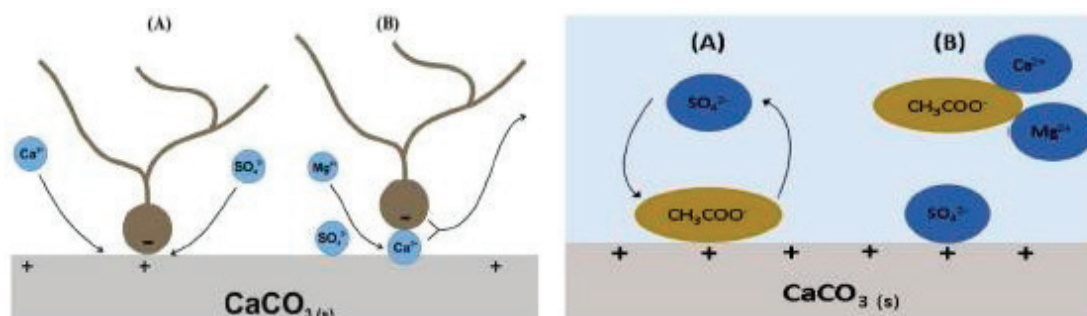


Fig. 2. (1) Proposed mechanisms for modification of wettability in carbonate rocks. (2) Proposed mechanisms for modification of wettability by EWI in carbonate rocks [7]

resulting in sulphate absorption. Simultaneously, Ca^{2+} adsorption increases as the original positive charge of the rock decreases. As a result, there are more excess Ca^{2+} ions on the surface, which interact with the carboxylic substance and cause some of them to be released. In addition, when the temperature increases, Mg^{2+} gets increasingly more active, Ca^{2+} is replaced with Mg^{2+} , and sulphate loses activity as a result of its interaction with Mg^{2+} [8].

2) Expansion Double Layer (EDL)

A potential is generated at the interface between a charged surface and a solution. This conceivable variation has two levels, each of which has its unique characteristics simply because it is multi-layered. The term «electrical double layer» describes this phenomenon (EDL). Figure 3 illustrates the simplified diagram of the expansion double layer. The EDL has two levels, which are: a) Stern layer: A thin, dense layer near the surface layer, about 1 nm thick. There are no moving ions in this layer. This layer is where most of the possible drops will happen. b) Diffuse layer: A layer whose thickness changes from 1 to 500 nm based on how much the double layer expands. Electrostatic forces bring together ions that have the opposite charge as the charged surface. At the same time, diffusivity caused changes

in osmotic pressure work against this and try to make the concentration of ions the same as the concentration of the bulk solution. A comparable force competition arises for ions that have the same charge as the surface. The electrostatic forces reject those ions from the surface. Repulsion is neutralized by back diffusion from the bulk solution.

Figure 3 a schematic representation of the electrical double layer that forms on clay with a negative surface charge (the Stern layer). Below the graphic model is a drawing showing the potential in relation to the bulk fluid as a function of distance from the clay surface. Ions further away from the charged surface often travel faster than ions closer to the charged surface. The Stern layer could get thinner, but the diffuse layer will get thinner more slowly. The thickness of the EDL is affected by the fluid's ionic strength. The electrolyte concentration in the bulk water solution decreases during low-salinity water (LSW) flooding, causing the EDL to expand. This is especially how the diffuse layer will act. However, the EDL thickness will be greatly reduced with an increase in electrolyte concentration. Compared to single-valence ions, multivalence ions have a greater influence on the expansion of double layers [10]. A reduction in ionic strength often results in EDL expansion, which enhances water wetting as a result of increased separation between the calcite and the oil. According to the DLVO

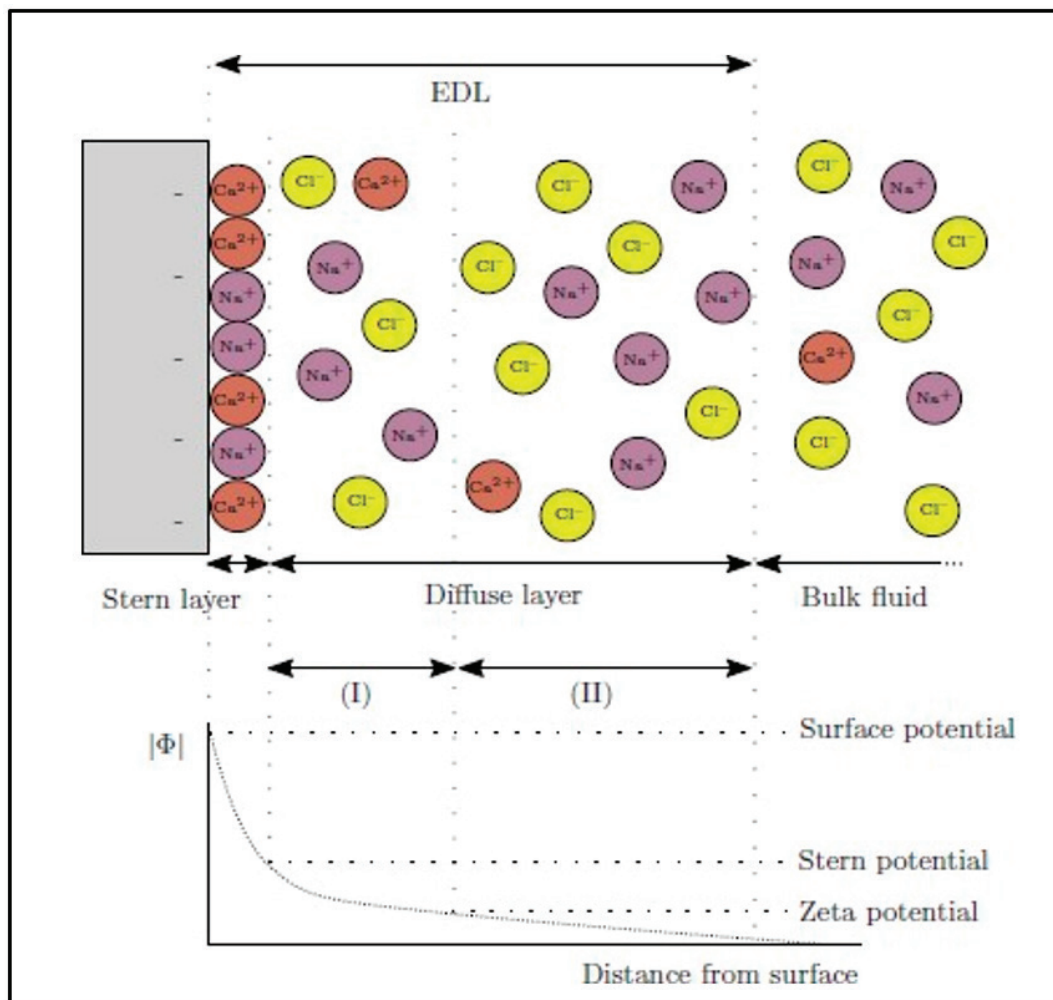


Fig. 3. A schematic of the electrical double layer (EDL)

hypothesis, the total frictional force pressure at the COBR contact becomes favorable (negative) when the polarities of the brine rock surface charge differ from those of the brine-crude oil surface charge. This would cause the water film to disintegrate, resulting in oil wetness.

Figure 4 Illustrates the variation in the COBR interface region potential as brine salinity decreases. When an oil molecule with a negative charge comes into contact with a positively

charged carbonate surface, the carbonate changes from being oil-wet to being mixed-wet, as shown in Figures.4a, 4c show that when the polarity of the oil-brine interface and the brine-rock interface are the same, there is a force pushing the oil away from the rock surface. This causes the expansion double layer (EDL) to expand at the rock-brine and crude oil-brine interfaces. This makes the water film thicker and changes the surface from being oil-wettable to water-wettable [11].

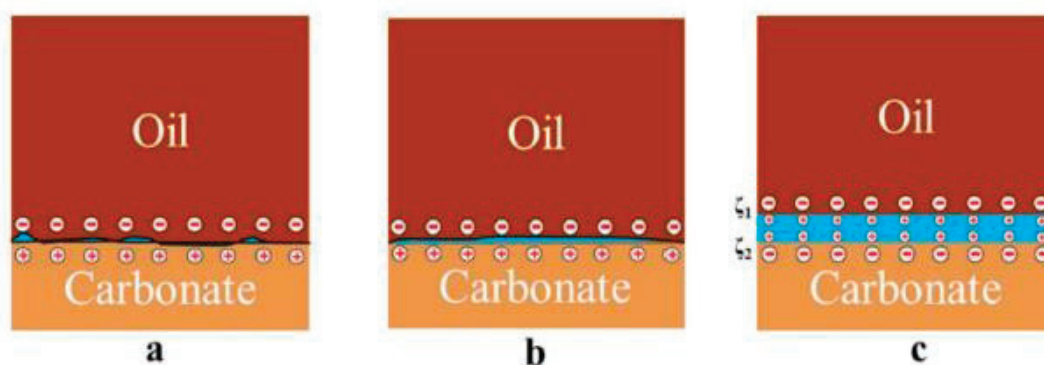


Fig.4. The change in the COBR contact surface potential as brine salinity drops

Decreased brine salinity may cause a larger length, which changes rock wettability and reduces the force of attraction at the COBR contact. The extended EDL is thought to have caused these changes in rock wettability, which resulted in the IOR observed during low salinity water flooding in carbonates. The calcite zeta potential may be affected by the adsorption of potential-determining ions (PDI) onto the calcite surface from the salt solution. The common practice of adding SO_4^{2-} to seawater causes its adsorption mostly on the surface of the calcite, changing the calcite-salt potential from positive to negative [9]. The base and acid numbers of the crude oil also influence a rock's wettability condition [12]. When the surface charges at the rock-brine and brine oil boundaries are equal, it seems that wettability alteration in carbonates is triggered, and when low salinity brine or seawater is used, the surface charge of limestone changes from positive to negative. Changes in the surface charge of the brine/rock interface were linked to the binding of certain ions to the brine/rock interface. The similar surface charges lead to an overall repulsive disjoining pressure larger than the binding force at both the rock/brine and oil/brine interfaces. This results in a thicker and more stable water layer between the oil and rock, resulting in a change from oil-wet to water-wet. Mahani et al. measured the pressure disjoining at the COBR interface of the scattered limestone rock in the brine formation (239,394 ppm). They found that the COBR interface's total interaction potential was negative at (25°, 50°, and 70°). Mahani et al. hypothesized that the deflated EDL of both the brine/oil and brine/rock interfaces had a dominating influence on the overall disjoining pressure, resulting in oil-wetness. Using low salinity brine and sea water brine, respectively, a negative surface charge and a positive whole-disjoining pressure were

produced at the brine-rock interface. Due to this, the water-wetness of limestone was enhanced, and a repulsive force was created at the COBR contact [13].

Conclusion

This study demonstrates that the success of low-salinity water injection strongly depends on specific reservoir conditions, including rock mineralogy, crude oil composition, salinity of the water produced and the presence of divalent ions such as calcium, magnesium and Sulfate. Experimental studies indicate that in carbonate reservoirs, wettability variations are mainly determined by mechanisms such as multivalent ion exchange and expansion of the double electrical layer. These processes weaken the adhesion forces at the oil-rock interface, promote water film stability and make the rock surface more hydrophilic. Although laboratory studies and some field applications have given encouraging results, the underlying mechanisms of low salinity water injection remain complex and are not universally applicable to all reservoirs. Variations in temperature, chemistry and mineral composition of brine can have a significant impact on performance, highlighting the importance of proper reservoir selection and brine optimization prior to field implementation. In conclusion, low salinity water injection is a promising and environmentally friendly method for improving oil recovery, with a significant potential for increased oil production when applied under optimal conditions. Further research, particularly at the oilfield level, is needed to better understand the mechanisms, improve predictability and make strong recommendations for broader application of this technology in future petroleum developments.

References:

1. D. W. Green and P. G. Willhite, "Enhanced Oil Recovery (Willhite).pdf" p. 1, 1998.
2. L. Zhang et al., "Experimental Investigation of Low-Salinity Water Flooding in a Low-Permeability Oil Reservoir," *Energy and Fuels*, vol. 32, no. 3, pp. 3108–3118, 2018, doi: 10.1021/acs.energyfuels.7b03704.
3. A. Aljaberi and M. Sohrabi, "A new approach to simulate low salinity water flooding in carbonate reservoir," *SPE Middle East Oil Gas Show Conf. MEOS, Proc.*, vol. 2019-March, 2019, doi: 10.2118/195081-ms.
4. C. Gem, "Modeling of Low Salinity Water Flooding Clastics and Carbonates".
5. A. Katende and F. Sagala, "A critical review of low salinity water flooding: Mechanism, laboratory and field application," *J. Mol. Liq.*, vol. 278, pp. 627– 649, 2019, doi: 10.1016/j.molliq.2019.01.037.
6. J. T. Tetteh, P. V. Brady, and R. Barati Ghahfarokhi, "Review of low salinity waterflooding in carbonate rocks: mechanisms, investigation techniques, and future directions," *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 284, p. 102253, 2020, doi: 10.1016/j.cis.2020.102253.
7. E. W. Al Shalabi and K. Sepehrnoori, *Low Salinity and Engineered Water Injection for Sandstone and Carbonate Reservoirs*. 2017.
8. J. O. Adegbite, E. W. Al-Shalabi, and B. Ghosh, "Geochemical modeling of engineered water injection effect on oil recovery from carbonate cores," *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 170, no. December 2017, pp. 696–711, 2018, doi: 10.1016/j.petrol.2018.06.079.
9. H. Mahani, A. L. Keya, S. Berg, W. B. Bartels, R. Nasralla, and W. R. Rossen, "Insights into the mechanism of wettability alteration by low-salinity flooding (LSF) in carbonates," *Energy and Fuels*, vol. 29, no. 3, pp. 1352– 1367, 2015, doi: 10.1021/ef5023847.
10. M. A. Brown, A. Goel, and Z. Abbas, "Electrical Double Layer Effect of Electrolyte Concentration on the Stern Layer Thickness at a Charged Interface Angewandte," pp. 3790–3794, 2016, doi: 10.1002/anie.201512025.
11. A. Al-Khafaji and D. Wen, "Quantification of wettability characteristics for carbonates using different salinities," *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 173, pp. 501–511, 2019, doi: 10.1016/j.petrol.2018.10.044.
12. J. S. Buckley, Y. Liu, and S. Monsterleet, "Mechanisms of Wetting Alteration by Crude Oils," *SPE J.*, vol. 3, no. 1, pp. 54–61, 1998, doi: 10.2118/37230- PA.
13. W. J. de Bruin, "Simulation of Geochemical Processes during Low Salinity Water Flooding by Coupling Multiphase Buckley-Leverett Flow to the Geochemical Package PHREEQC," *Delft Msc thesis*, no. August, 2012.

Tectonic development and oil and gas prospects of the Bandovan field

Mukhtarova Khuraman Ziyadkhan, candidate of geological and mineralogical sciences, associate professor, head of department;
Agazade Zulfi Kamil, master's student
Azerbaijan State University of Oil and Industry (Baku, Azerbaijan)

The Lower Kura depression is considered the western structural element of the South Caspian Depression. It is bordered from west and southwest by the Western Caspian tectonic fault, from north and northeast by the Achichay-Alat tectonic fault, and from east by the Western Absheron tectonic fault. LKD oil and gas-bearing region forms the southeastern part of the Kura Intermontane Depression located between the Greater and Lesser Caucasus and Talysh Mountain systems. It is surrounded by the Shamakhi-Gobustan and Saatli-Goychay oil and gas-bearing regions in the northeast and northwest, by the Jalilabad region in the southwest, and by the South Caspian Depression in the southeast. The article, taking into account the peculiarities of paleotectonic development, examines the prospects of the Bandovan field, which is part of the Lower Kura depression oil and gas region.

Keywords: depression, structures, paleoprofile, tectonics, analysis, period, Productive Series.

Тектоническое развитие и нефтегазовые перспективы месторождения Бандован

Нижнекурская депрессия считается западным структурным элементом Южно-Каспийской впадины и ограничена Западно-Каспийскими тектоническими разломами на западе и юго-западе, глубинными разломами Аджичай-Алат на севере и северо-востоке и Западно-Абшеронскими разломами на востоке. Нижнекурский нефтегазоносный район образует юго-восточную часть Курской межгорной депрессии, расположенной между Большим и Малым Кавказом и Талышскими горными системами. Он граничит с Шамахи-Гобустанским и Саатли-Гойчайским нефтегазоносными районами на северо-востоке и северо-западе, Джалилабадским перспективным нефтегазоносным районом на юго-западе и Южно-Каспий-

ской депрессией на юго-востоке. В статье с учетом особенностей палеотектонического развития исследуются перспективы Бандованского месторождения, входящего в Нижнекурский нефтегазоносный район.

Ключевые слова: депрессия, структуры, палеопрофиль, тектоника, анализ, период, продуктивная толща.

Introduction

LKD is a long-exploited and well-studied area of Azerbaijan by geological and geophysical exploration methods. Tectonically, the LKD is a buried depression extending toward all-Caucasus. The effect of compressional stresses arising here has led to the compression of rheologically active masses and the formation of uplifts in the submeridional direction (Fig. 1).

Prospecting and drilling works have been carried out since the beginning of the last century, and in recent times intense exploitation has been carried out. As a result of the geological-geophysical survey and drilling works 22 structures have been discovered here. The oil and gas-bearing some of them have been confirmed, and already exploited. They are Kurovdagh, Karabakhly, Kursangi, Mishovdagh, Neftchala, Galmaz, Kalamaddin folds. In addition, promising structures such as

Bandovan, Khidirli, Padar, which require more detailed research, are also a great interest.

Data and Methods

Recently, the Lower Kura Depression was considered an internal part of the Kura Intermontane Depression. New seismic and well data obtained since the 1960s indicate that the Lower Kura Depression is generally a northwestern continuation of the South Caspian Depression. This is confirmed by the similarity of the tectonics, lithostratigraphy, geological development history, and characteristics of the manifestation of mud volcanoes of both the South Caspian and the Lower Kura Depression.

In order to study the structural-tectonic development of the area, the paleodevelopment of the Bandovan structure

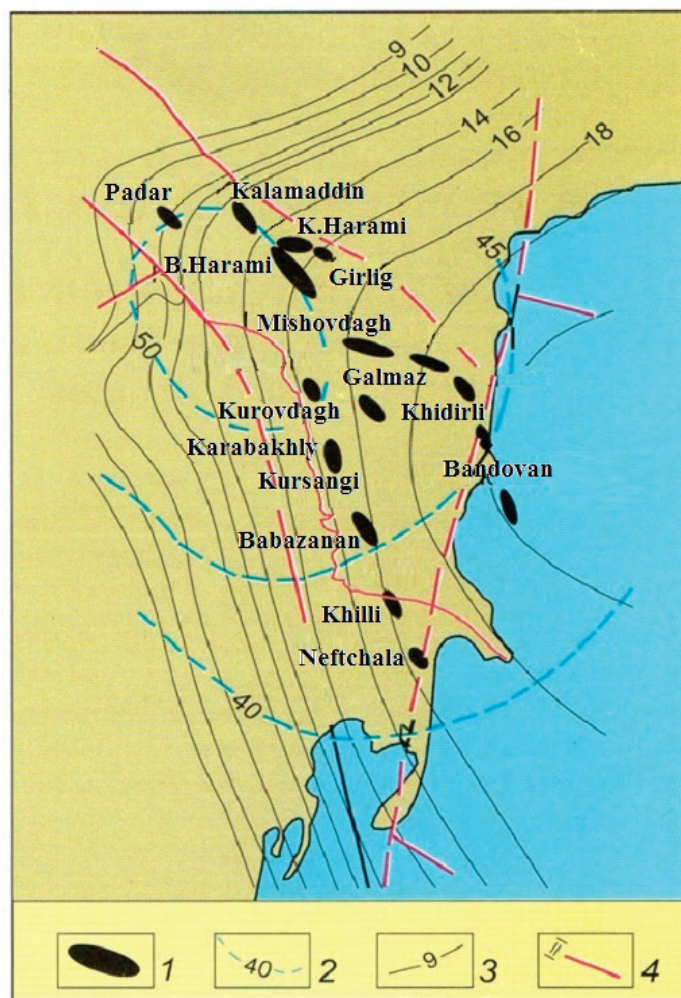


Fig. 1. The location scheme of the structures in the Lower Kura Depression

Legends: 1— structures, 2 — top of the Mesozoic age, 3 — isohypses, 4 — faults

was carried out based on the analysis of the constructed corresponding paleoprofiles. This plays a major role in obtaining accurate information about both its geological structure and oil and gas prospects. Paleoprofiles constructed based on the transverse profiles of the Bandovan fold, which is located along the Kalamaddin-Mishovdagh-Bandovan anticline zone, cover the Pontic-Quaternary stratigraphic interval. Based on these analyses, the study of the structural-tectonic development parameters of the Bandovan structure allows us to provide fairly accurate information about the oil and gas prospects of the fold.

Dimensions of the structure by the top of Lower Productive Series are 18 km in length, and 5–6 km in width.

This anticlinal fold, extending in the south-southeast direction, is separated from the Galmaz anticline by a wide and deep saddle. The fold is complicated by two faults, the fault planes of which lie at an angle of 75–80°, parallel to the axis of the fold. Longitudinal faults, passing through the arch part of the southwestern limb of the fold, continue along the fold and create

a fault zone with a width of 450–600 m. To the northeast of this zone, the arch and northeastern limb of the fold are located.

As can be seen from the paleoprofile constructed by the ends of the Pontic stage for the Bandovan fold, the development of its began earlier and continued under different tectonic conditions during the Pontic period (Figure 2).

Thus, starting from the end of this period, the formation of the fold limbs and the process of sedimentation are simultaneously traced along with the development of the fold. The fact that the process of sedimentation occurred intensively in both the southwestern and northeastern limbs is indicative of positive tectonic movements in the arch of the fold. As a result, the sedimentation process in the arch of the fold was significantly weakened and slowed down.

The continuation of the increasing intensity of tectonic movements resulted in the formation of two faults that complicated the arch part of the fold at the end of the Lower Productive Series (PS) period. At this time, the intensity of the sedimentation process was different in the arch and limb parts: the

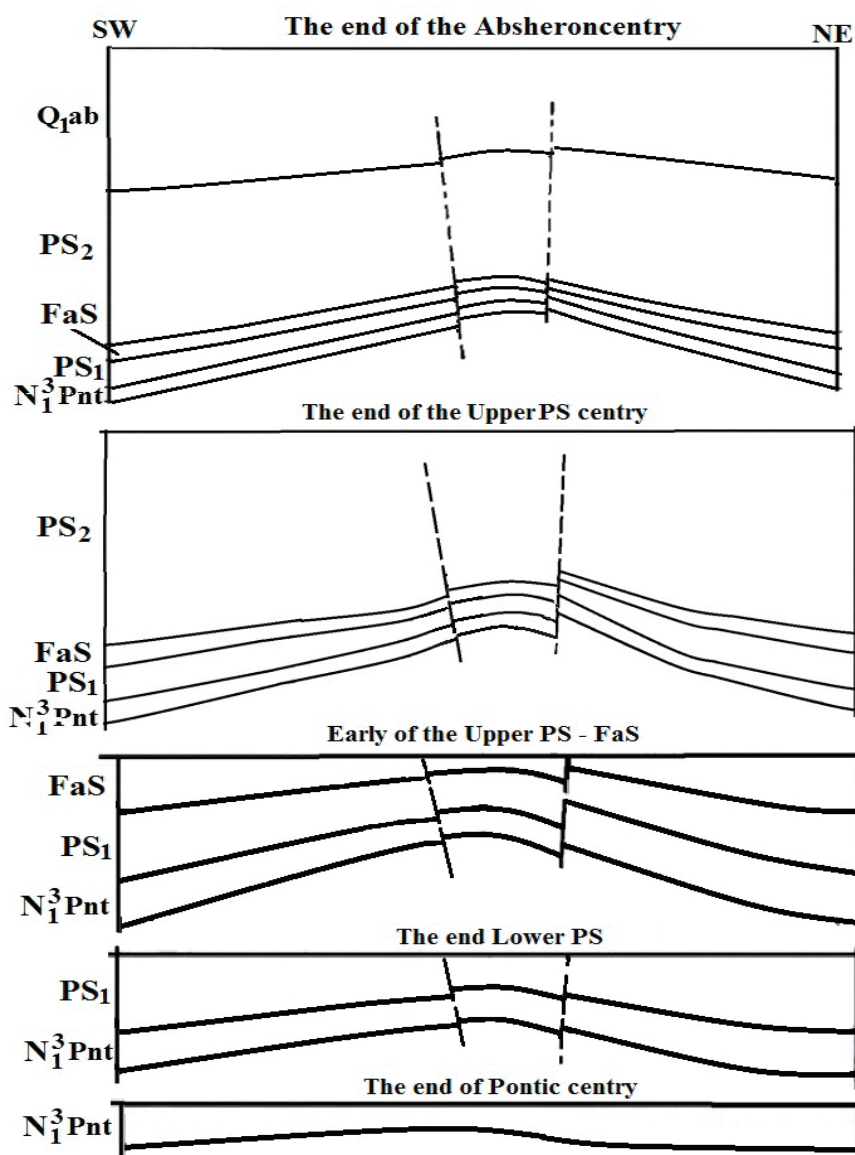


Fig. 2. Bandovan structure. Paleoprofiles

sedimentation process in the arch part was weak, and in limbs it was more intense, although different.

It should be noted that the fold developed simultaneously with the sedimentation process in the Lower PS half-century. In this period, the development rate of the fold was relatively high, unlike before. The formed faults have been complicated the fold and the greater thickness of the accumulated sediments indicates that the development rate of the fold was relatively weaker than the sedimentation rate in the Lower PS period than in the Pontic century.

The paleoprofile reflecting the early of the Upper PS and the formation of the Fasila suite indicate that the rate of sedimentation in this half-century was significantly weaker than in the Lower PS. The faults that complicate the arch of the fold, passing through both the southwestern and northeastern limbs, due to the intensity of tectonic movements increased during this period. It should be noted that the height of the fold was approximately 300 m during this period.

The paleoprofile compiled for the end of the Upper PS half-century shows that the intensity of the formation of the fold increased even more. As a result of the high intensity, the thickness of the layers in the arch part of the structure is less than the limbs. At the same time, the thickness of the layers decreases towards the arch and wedging out.

At the end of the Upper PS century, the faults that further complicated the arch part of the fold caused its southwestern limb to break and fall lower relative to the arch. The disruption of the wholeness of the layers that make up the fold, the formation of faults led to the formation of traps of various types around them. The subsidence of the southwestern limb of the fold, and the breaking down of the northeastern limb relative to the arch, continues in the Absheron century.

In the paleoprofile constructed for the end of the Absheron century, the limbs of the fold rise in the northeast direction and take a stepped shape, in accordance with the characteristics of tectonic development. As a result, the formation of a small-amplitude reverse fault is observed in the southwestern limb, and a normal fault in the northeastern limb. Analysis of the paleoprofile reflecting this time period allows that the process of sedimentation and the development of the fold occurred simultaneously and with the same intensity in the southwestern and northeastern limbs of the fold.

Paleoanalyses show that the development of the fold occurred in active and continuous tectonic conditions. The complexity of the structure with normal and reverse faults indicated the active manifestation of compressional stresses in this region.

Conclusion

1. The widespread manifestation of mud volcanoes in the Lower Kura Depression is one of the factors that positively affects the geotectonic development of the OGR, oil and gas prospects and the formation of hydrocarbon fields.

2. The occurrence of mud volcanoes in the territory of Azerbaijan is associated with the activity of compressional stresses, which lead to the complication of structures with normal and reverse faults and the formation of stepped blocks.

3. The intensity of the resulting compressional stresses caused the compression of rheologically active masses and the formation of folds in the submeridional direction.

4. It is clear from the paleoprofiles compiled for the Galmaz and Bandovan structures formed in the Lower Kura Depression indicate that they are under the compressional stresses, resulting formation of normal, reverse faults in the structure, and also thrust faults.

References:

1. Huseynov B. B., Salmanov A. M., Maharramov B. I. Oil and gas geological zoning onshore of Azerbaijan. Baku, Mars Print Publishing House, 2019, 310 p.
2. Maharramov B. I. Geology of the Langebiz-Alat and Lower Kura Depression and their boundary zone. Baku, Mars Print Publishing House, 2023, 256 p.
3. Salmanov A. M., Suleymanov A. M., Maharramov B. I. Paleogeology of oil and gas-bearing regions of Azerbaijan. Baku, ed. "Mars Print", 2015, 472 p.
4. Salmanov A. M., Maharramov B. I., Garagezov E.Sh., Kerimov N. S. Geology and indicators of oil and gas field development onshore territory of Azerbaijan, Handbook, Baku, MSV MMC Publishing House, 2023, 622 p.
5. Мухтарова Х. З., Насибова Г. Д. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности глубокозалегающих горизонтов площади Мишовдаг Нижнекуринской впадины по новым геолого-геофизическим данным. Известия Уральского Государственного Горного Университета, Екатеринбург: Урал: 2016. № 4 (44), с. 18–24.

Numerical simulation of hydrodynamic processes to ensure effective hole cleaning in extended reach drilling wells

Nada Ahmed Mohamed Omar Mohamed, master's student
Ufa State Oil Technical University

Extended Reach Drilling (ERD) enables access to hydrocarbon reserves far from the drilling platform, but it poses significant challenges in hole cleaning due to the extended horizontal sections. Inadequate removal of drill cuttings can lead to increased torque, drag, and risks like stuck pipe or wellbore instability. This article explores numerical simulations of hydrodynamic processes to optimize hole cleaning efficiency. Using Computational Fluid Dynamics (CFD) and other modeling techniques, we analyze factors such as fluid flow patterns, cuttings transport, and drill string dynamics. Results demonstrate how parameters like flow rate, mud rheology, and pipe rotation influence cleaning performance. The study draws on recent advancements, including innovative drill pipe designs, to provide insights for improving ERD operations.

Introduction

Extended Reach Drilling (ERD) refers to wells with high horizontal displacement relative to vertical depth, often exceeding a Directional Difficulty Index (DDI) of 6.0 for complex profiles. These wells allow operators to tap into distant reservoirs from a single location, reducing environmental impact and costs. However, ERD amplifies hole cleaning issues: cuttings accumulate in the annulus, forming beds that

hinder drilling progress and increase equivalent circulating density (ECD). Hydrodynamic processes involve the circulation of drilling fluids (mud) to transport cuttings to the surface. Numerical simulations, such as CFD models, simulate these flows to predict and optimize cleaning without physical trials. This is crucial for ERD, where horizontal sections can span kilometers, and gravity aids less in cuttings removal. Key challenges include high torque/drag, barite sag, and ECD management.

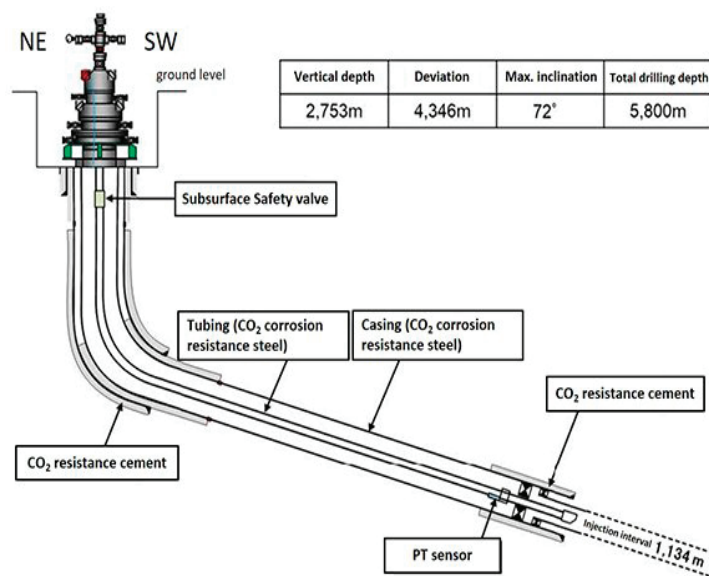


Fig. 1. Schematic diagram of an Extended Reach Drilling (ERD) well profile, illustrating the extended horizontal reach

Literature Review

Research on hole cleaning in ERD has evolved from empirical studies to advanced numerical models. Early work focused on experimental flow loops to measure cuttings transport efficiency under varying inclinations and flow rates. For instance, studies have shown that in horizontal wells, cuttings beds form on the low side of the annulus, requiring higher annular velocities for removal. Numerical approaches, including drift-flux models and CFD, have gained prominence. A drift-

flux model treats the multiphase flow (fluid, cuttings) as a mixture with relative velocities, enabling transient simulations of cleaning efficiency. CFD simulations, often using Eulerian-Eulerian frameworks, model turbulent flows and particle interactions more precisely. Innovative solutions, like elliptical drill pipes, have been simulated to show up to 18 % improvement in cleaning by inducing secondary flows without excessive pressure drops. Fiber sweeps enhance rheological properties for better suspension. Machine learning models are emerging to predict cleaning based on real-time data.

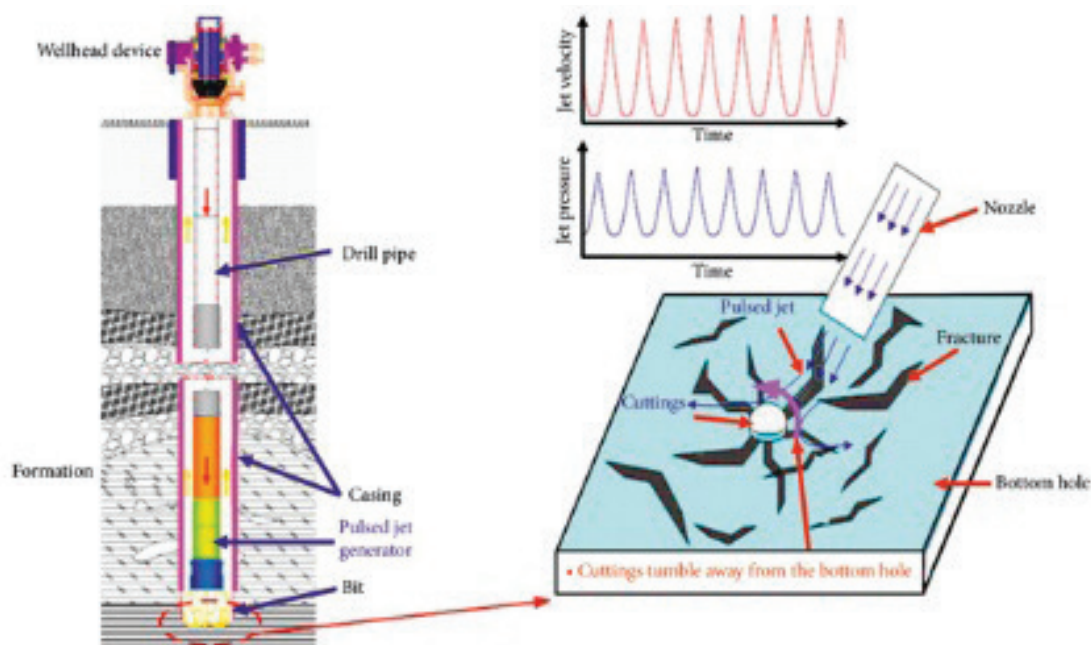


Fig. 2. Illustration of hole cleaning process in a horizontal wellbore, showing cuttings bed formation and fluid circulation

Methodology: Numerical Simulation Setup

Numerical simulations typically employ CFD software like ANSYS Fluent or Open FOAM to model the annulus as a 3D domain. The geometry includes the drillpipe (inner cylinder) and wellbore (outer cylinder), with lengths simulating ERD sections (e.g., 3000m horizontal). Governing equations are the Navier-Stokes for fluid flow, coupled with particle transport models. For multiphase flow, the Eulerian approach treats cuttings as a granular phase, incorporating drag, lift, and virtual mass forces. Turbulence is modeled via $k-\epsilon$ or $k-\omega$ SST

for accurate shear predictions. Boundary conditions: Inlet velocity based on pump rates (e.g., 0.5–1.5 m/s annular velocity), outlet pressure, and no-slip walls. Drill pipe rotation (50–150 RPM) and eccentricity (0–100 %) are varied. Mud properties: Non-Newtonian (Herschel-Bulkley model) with yield stress 5–15 Pa, density 1200–1500 kg/m³.

Hydrodynamic Models and Key Parameters

Hydrodynamic processes in hole cleaning involve axial and secondary flows. In ERD, low annular velocities lead to strati-

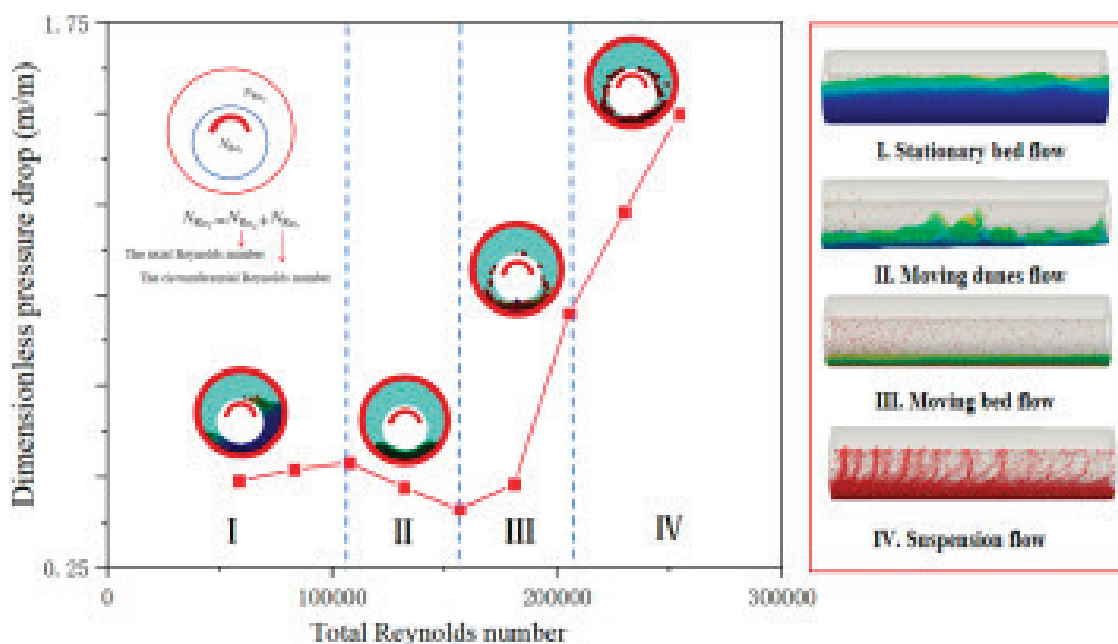


Fig. 3. CFD simulation visualization of fluid flow patterns in a wellbore annulus during drilling

fied flow, where cuttings settle. Simulations reveal flow patterns: dispersed (effective cleaning), moving bed, or stationary bed.

Key parameters:

Flow Rate: Higher rates increase turbulent kinetic energy, reducing bed height. Optimal annular velocity >0.8 m/s for ERD.

Mud Rheology: Yield stress and plastic viscosity suspend cuttings; fiber additives improve by 10–20 %.

Pipe Rotation: Induces helical flow, eroding beds. 100 RPM can halve bed height.

Eccentricity and Inclination: Eccentric pipes reduce velocity in narrow gaps, worsening cleaning; 80–90° inclinations are critical.

Cuttings Properties: Size (1–5mm) and density affect transport; larger particles require higher velocities.

Results and Analysis

Simulations of a 3000m ERD well show that baseline conditions (0.5 m/s velocity, no rotation) result in 30–40 % bed height, risking stuck pipe. Increasing velocity to 1.0 m/s reduces it to 10 %, but raises ECD by 15 %. With elliptical drillpipe, secondary vortices enhance mixing, improving efficiency by 18 % at similar pressures. Rotation at 120 RPM further cuts bed height by 25 %, as helical paths lift cuttings. Sensitivity analysis: For 85° inclination, eccentricity >50 %

doubles bed formation time. Fiber sweeps maintain low beds even at reduced flows. Velocity contours from CFD indicate low-velocity zones on the low side, correlating with bed buildup. Pressure drops remain manageable (<5 % increase) with optimized parameters.

Discussion

Numerical simulations provide a cost-effective way to mitigate ERD risks, outperforming trial-and-error. They reveal trade-offs: higher flows clean better but risk fracturing. Integrating real-time PWD data refines models for adaptive drilling. Limitations include assuming uniform cuttings; real scenarios involve polydisperse particles. Future work: Couple with machine learning for predictive analytics. Case studies from Sakhalin-1 (14km reach) validate simulations in pushing ERD limits.

Conclusion

Effective hole cleaning in ERD wells relies on optimized hydrodynamic processes, best analyzed through numerical simulations. By modeling fluid dynamics and parameters like rotation and rheology, operators can enhance efficiency, reduce downtime, and extend reach. This study underscores the value of CFD in ERD design, paving the way for safer, more economical drilling.

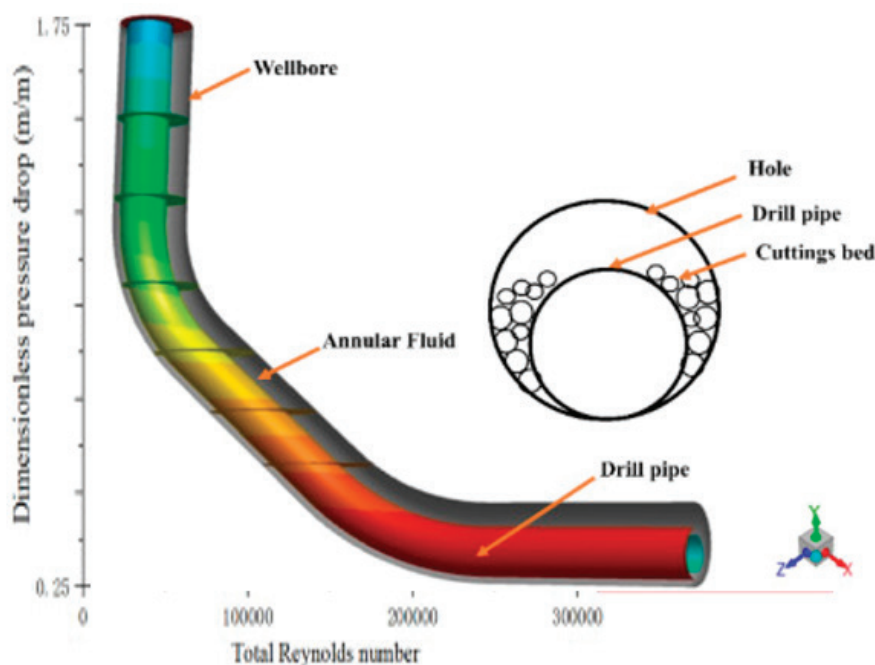


Fig. 4. CFD modeling showing cuttings transport efficiency and bed formation in the annular space during horizontal/ERD drilling

References:

1. Sayindla, S., Lund, B., Ytrehus, J. D., & Saasen, A. (2017). Hole-Cleaning and Wellbore Instability in Complex Structural Wells: A Review. *The Open Petroleum Engineering Journal*, 6, 25–32. <https://openpetroleumengineeringjournal.com/VOLUME/6/PAGE/25/PDF>

2. Sayindla, S., Lund, B., Ytrehus, J. D., & Saasen, A. (2017). Hole-Cleaning and Wellbore Instability in Complex Structural Wells: A Review. *The Open Petroleum Engineering Journal*, 6, 25–32. <https://openpetroleumengineeringjournal.com/VOLUME/6/PAGE/25/PDF>
3. Gholami, R., Rabiei, M., Rasouli, V., Aadnoy, B., & Nikolaev, N. (2015). A review of the critical conditions required for effective hole cleaning while horizontal drilling. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 5(4), 379–390. <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2015.10.005>
4. Sun, Y., Song, X., Guo, Z., Xiang, Y., Wang, Z., & Li, G. (2024). Numerical investigation of flow patterns in cuttings transport for extended-reach horizontal wells with rotation drill pipe. *Powder Technology*, 438, 119624. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.119624>
5. e, Z., Liu, J., Liu, X., & Zhang, Y. (2023). Numerical Simulation of Hole Cleaning of a Horizontal Wellbore Model with Breakout Enlargement Section. *Mathematics*, 11(14), 3070. <https://doi.org/10.3390/math11143070>
6. Abbas, A. K., Alsaba, M. T., Al Dishdashi, M. F., & Flori, R. E. (2022). Numerical Simulation of Effective Hole Cleaning by Using an Innovative Elliptical Drill pipe in Horizontal Wellbore. *Energies*, 15(2), 399. <https://doi.org/10.3390/en15020399>
7. Liu, Y., Li, G., Song, X., & Wang, Z. (2023). A novel transient hole cleaning algorithm for horizontal wells based on drift-flux model. *Greenery Science and Engineering*, 223, 211537. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.211537>
8. Walker, M. W. (2012). Extended-Reach Drilling (ERD)—The Main Problems and Current Achievements. *Journal of Petroleum Engineering*, 2012, Article ID 304320. <https://doi.org/10.1155/2012/304320> (PDF available at <https://pdfs.semanticscholar.org/6d68/fc2bb68649abe4b488b406f1a4f378fcc824.pdf>)
9. JAPEX. (n.d.). Extended Reach Drilling (ERD). Japan Petroleum Exploration Co., Ltd. <https://www.japex.co.jp/en/technology/advanced/erd>
10. Cameron, C. (2001). Pressure-While-Drilling Measurements to Solve Extended-Reach Drilling Problems on Alaska's North Slope. *SPE Drilling & Completion*, 17(02), 100–106. <https://doi.org/10.2118/109126-PA>
11. Baldino, S., Osgouei, R. E., Ozbayoglu, E., Miska, S. Z., May, R., Takach, N., & McLean, A. (2009). Fiber Sweeps for Hole Cleaning. *SPE Drilling & Completion*, 24(04), 564–570. <https://doi.org/10.2118/119162-PA>

ЭКОЛОГИЯ

Валидация метода виртуальных гидропостов для оценки изменения уровня воды в малых реках

Калинников Владислав Валерьевич, кандидат физико-математических наук,
руководитель направления геонаучного консалтинга
Университет Иннополис (Республика Татарстан)

Метод виртуальных гидропостов представляет собой способ дистанционного определения изменений уровня воды, основанный на измерении ширины русла реки на серии спутниковых снимков и восстановлении вариаций уровня воды с использованием гидравлических зависимостей. В статье выполнена валидация метода виртуальных гидропостов для оценки уровня воды в малых реках по данным космических аппаратов Sentinel-2 на примере реки Шешмы с использованием наблюдений стационарного гидропоста. Показано, что спутниковые измерения ширины русла позволяют достоверно воспроизводить динамику уровней воды и могут применяться при отсутствии регулярных гидрологических наблюдений.

Ключевые слова: виртуальный гидропост, малая река, уровень воды, спутниковая съемка.

Введение

Наблюдение за уровнем воды в реках является одной из ключевых задач гидрологического обеспечения территорий, напрямую влияющей на безопасность населения, устойчивость инфраструктуры и эффективность водохозяйственного управления. В Российской Федерации организация гидрологических наблюдений регламентируется нормативными документами Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, прежде всего серий руководств «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам» [1, 2].

В соответствии с действующими нормативными документами, для получения репрезентативных рядов уровней воды требуется наличие стационарных гидрологических постов, оснащенных равномерным оборудованием и обслуживаемых квалифицированным персоналом. Однако значительная часть малых рек не охвачена регулярными наблюдениями вследствие высокой стоимости создания и эксплуатации постов, а также сложности их размещения в труднодоступных районах.

В то же время знание закономерностей изменения уровня воды в малых реках имеет важное практическое значение для широкого круга прикладных задач. Для девелоперов данные об изменчивости уровня воды необходимы при проектировании и размещении объектов агропромышленной инфраструктуры, включая животноводческие комплексы, элеваторы, перерабатывающие предприятия и линейные коммуникации. Банковские ор-

ганизации используют информацию о гидрологическом режиме территории при оценке инвестиционных рисков и формировании условий кредитования, а страховые компании — при расчете вероятности ущерба от паводков и сезонных подтоплений.

Ограниченность наземной наблюдательной сети стимулировала развитие альтернативных подходов к оценке гидрологических параметров на основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса. В последние десятилетия сформировалось направление, связанное с построением виртуальных гидропостов — условных пунктов наблюдений, в которых уровни воды и связанные гидрологические характеристики определяются по спутниковым данным и моделям их интерпретации [3–6].

Одним из наиболее развитых направлений является использование спутниковой радиолокационной альтиметрии. Современные космические системы, в частности космические аппараты (КА) Sentinel3, обеспечивают регулярные измерения высоты отражающей поверхности озер, водохранилищ и крупных рек в точках их пересечений с подспутниковыми треками [7–10].

Для малых рек развивается альтернативный подход, основанный на анализе изменений ширины русла и площади водной поверхности по спутниковым изображениям [11–14]. Теоретической основой метода являются положения гидравлической геометрии, устанавливающие статистическую связь между шириной русла, уровнем воды и расходом. Специально подобранные участки русел, наи-

более пригодные для измерения ширины водотока, получили названия виртуальных гидропостов.

Использование виртуальных гидропостов позволяет определять ширину русел как на открытых данных среднего разрешения, получаемых с КА Sentinel-2, так и по коммерческим данным КА картографического назначения, таких как WorldView, Pleiades, PlanetScope, Kompsat. Последние имеют высокое пространственное разрешение, обеспечивающее детальное отображение русла и береговой линии. Использование таких данных позволяет существенно повысить точность определения ширины водотока и устойчивость виртуальных гидропостов в условиях сложной морфологии русла и пойменной растительности [15–22].

Целью настоящей статьи является валидация метода виртуальных гидропостов по наблюдениям стационарного наземного гидрологического поста на примере реки Шешма, т. к. это позволяет определить параметры эмпирических зависимостей, оценить точность восстановления уровней воды и установить область применимости метода.

Материалы и методы

Река Шешма является левым притоком реки Камы и относится к категории малых равнинных рек [23]. Длина реки составляет около 259 км, площадь водосборного бассейна — около 6000 км². Русло имеет меандрирующий тип, сложено аллювиальными отложениями, берега преимущественно пологие, местами отмечается зарастание водной и прибрежной растительностью. Гидрологический режим равнинный, с выраженным весенним половодьем и летне-осенней меженью [24]. Физико-географические условия определяются положением территории в лесостепной зоне Восточно-Европейской равнины с умеренно континентальным климатом [25].

В качестве виртуального гидропоста в исследовании использован участок русла реки Шешмы в районе населенного пункта Слобода Архангельская (Республика Татарстан) в точке с координатами 55°09' с.ш. и 51°15' в.д. (рис. 1). Выбранный участок характеризуется отсутствием гидротехнических сооружений и выраженной береговой линией. Правый берег в выбранном под виртуальный гидропост месте достаточно пологий, что обуславливает заметное изменение ширины русла на космических данных при изменении уровня воды.

Метод виртуального гидропоста основан на дистанционных измерениях ширины водной поверхности как параметра, связанного с уровнем и расходом воды [26]. Для измерения ширины русла в настоящем исследовании использовались данные КА Sentinel2 программы Copernicus Европейского союза [27]. Анализ изображений уровня обработки Level2A выполнялся с использованием веб-платформы Copernicus Data Space Ecosystem Browser (<https://browser.dataspace.copernicus.eu/>) [28].

Непосредственное измерение ширины русла выполнялось для каждой даты по фиксированному поперечному створу на изображениях, полученных в спектральной композиции false color на основе трех каналов: В3 (зеленый диапазон, 560 нм), В4 (красный диапазон, 665 нм), В8 (ближний инфракрасный диапазон, 842 нм). Период повторяемости съемки составляет 5 суток. За период с апреля 2017 г по май 2024 г после исключения облачных сцен получено 143 измерений ширины русла.

Для валидации результатов использовались данные гидрологического поста УГМС Республики Татарстан, расположенного в селе Слобода Петровская примерно в 18 км выше по течению реки. С учетом дат, когда данные гидропоста были не доступны, получено 118 пар значений ширины русла по данным Sentinel-2 и уровня воды. Эти данные применялись для сопоставления, калибровки



Рис. 1. Схема расположения гидропоста и виртуального гидропоста на русле реки Шешма

и оценки точности результатов, полученных на виртуальном гидропосте [29].

Результаты

Для анализа взаимосвязи между гидрологическими параметрами была построена диаграмма рассеяния, отражающая взаимосвязь между шириной русла, определенной по данным Sentinel2, и уровнем воды относительно нуля гидропоста (рис. 2). Каждая точка диаграммы соответствует одной дате спутниковой съемки, для которой удалось определить ширину водной поверхности в створе виртуального гидропоста.

Анализ распределения точек показывает наличие выраженной линейной зависимости между шириной русла и уровнем воды, что подтверждает возможность применения гидравлического подхода виртуальных гидропостов. Полученная зависимость описывается уравнением вида:

$$H = a_1 \cdot B + a_0,$$

где H — уровень воды, B — ширина русла, a_0 и a_1 — эмпирические коэффициенты.

Значение коэффициента a_0 обуславливается положением условного нуля гидропоста. Коэффициент a_1 соответствует уклону поперечного профиля русла и определяет чувствительность ширины потока к изменению уровня воды.

Согласно обобщениям, приведенным в гидрологических справочниках и работах по русловым процессам [30–34], для малых равнинных рек с устойчивым руслом рекомендуется принимать значения коэффициента:

$$a_1 \approx 0,03–0,05 \text{ м/м.}$$

Указанный диапазон соответствует рекам с относительно устойчивыми берегами, умеренно развитой поймой и отсутствием интенсивного зарастания русла. Полученное значение коэффициента $a_1 = 0,0425 \text{ м/м}$ соответствует этому характерному диапазону, что свидетельствует об умеренно выраженной деформации русла Шешмы и слабом влиянии заиливания и зарастания водной

растительностью. Для заросших русел, характеризующихся замедленным течением, заиливанием и развитием водной растительности, характерны меньшие значения коэффициента a_1 (как правило, менее $0,03 \text{ м/м}$).

Таким образом, значение коэффициента a_1 , полученное для исследуемого участка р. Шешмы, подтверждает отнесение данного водотока к категории малых равнинных рек с устойчивым руслом.

В случае отсутствия стационарного гидропоста на исследуемом участке малой реки для практических расчетов рекомендуется использовать среднее справочное значение коэффициента a_1 , равное $0,04 \text{ м/м}$.

Точность восстановления уровней воды по данным виртуального гидропоста оценивалась путем сопоставления расчетных значений с наблюдениями гидропоста Росгидромета. При использовании коэффициента a_1 , полученного в результате калибровки по данным гидропоста, расхождения между расчетными и наблюдаемыми уровнями характеризуются среднеквадратической ошибкой (СКО), равной $0,19 \text{ м}$.

При применении крайних значений $0,03$ и $0,05 \text{ м/м}$ из типового справочного диапазона значения коэффициента, СКО ошибка составляет соответственно до $0,26$ и $0,22 \text{ м}$.

Несмотря на некоторое снижение точности, различие между значениями СКО не превышает $0,07 \text{ м}$, что свидетельствует о высокой устойчивости метода виртуальных гидропостов и возможности его применения для малых рек при отсутствии регулярных наблюдений.

На рис. 3 представлено сравнение временных рядов уровней воды р. Шешмы, полученных по данным стационарного гидропоста и по данным КА Sentinel-2 после калибровки виртуального гидропоста. Серой линией показан непрерывный ряд уровней воды по данным гидропоста, характеризующий внутригодовую и межгодовую изменчивость стока. Красными маркерами отображены значения уровней воды, восстановленные по спутниковым наблюдениям ширины русла и приведенные к шкале гидропоста с использованием линейной зависимости.

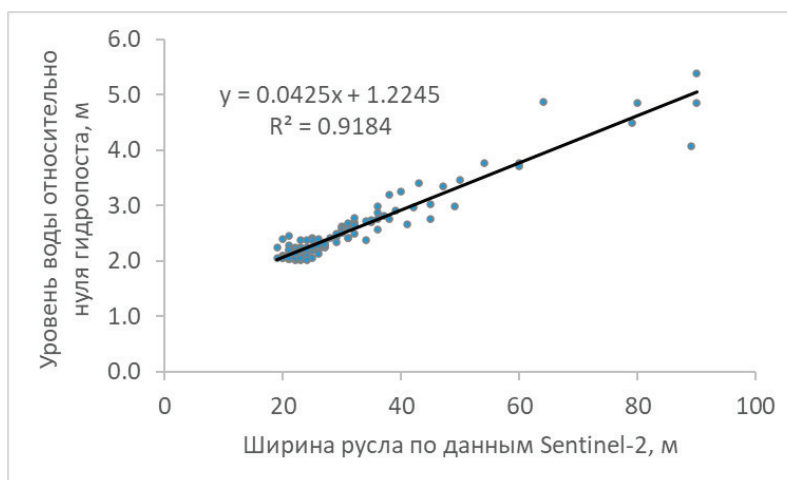


Рис. 2. Диаграмма рассеяния между шириной русла и уровнем воды реки Шешма

График демонстрирует хорошее соответствие между спутниковыми и наземными наблюдениями на протяжении всего периода 2017–2024 гг. Основные фазы гидрологического режима реки уверенно воспроизводятся по

данным Sentinel-2: весенние половодья с резким подъемом уровней воды, летне-осенние меженные периоды со стабильными минимальными уровнями, а также отдельные дождевые паводки теплого периода года.



Рис. 3. Сравнение временных рядов уровней воды р. Шешмы, полученных по данным стационарного гидропоста и по данным КА Sentinel-2

Максимальные расхождения между рядами наблюдений в периоды быстрого подъема уровней воды в фазу весеннего половодья. Это обусловлено ограниченной повторяемостью спутниковых съемок и влиянием облачности, вследствие чего часть экстремальных уровней может быть зафиксирована не полностью. В меженные и переходные периоды соответствие спутниковых и наземных наблюдений является наиболее устойчивым. Это подтверждает высокую чувствительность ширины русла в выбранном месте к изменениям уровня воды и корректность применения гидравлического метода виртуальных гидропостов.

Полученные результаты валидации подтверждают принципиальную возможность использования данных спутниковых наблюдений Sentinel2 для оценки внутригодовой и межгодовой изменчивости уровней воды малых равнинных рек.

Выводы

В ходе выполненного исследования апробирован метод виртуального гидропоста, основанный на анализе ширины русла малой реки по данным спутников Sentinel2. В качестве тестового участка выбран створ на реке Шешма

вблизи села Архангельская Слобода, характеризующийся устойчивым равнинным руслом и благоприятными условиями для дистанционных наблюдений.

Валидация рядов уровней воды, полученных по данным виртуального гидропоста, на основе сравнения с данными стационарного гидрологического поста показала хорошее согласование как по фазе колебаний, так и по амплитуде уровней. Среднеквадратические отклонения расхождений составляют от 0,19 до 0,26 м в зависимости от выбранного значения коэффициента уклона поперечного профиля русла из справочного диапазона значений, характерных для данной категории водотоков.

Максимальные расхождения наблюдаются в периоды резких паводочных подъемов, что связано с ограниченной повторяемостью спутниковых съемок и влиянием облачности. В меженный период соответствие рядов наиболее устойчиво.

В целом выполненная работа демонстрирует высокий потенциал использования спутниковых данных среднего и высокого пространственного разрешения для формирования виртуальных гидропостов и расширения информационной базы гидрологических наблюдений на малых реках.

Литература:

1. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 2. Часть II. Гидрологические наблюдения на постах. — Л.: Гидрометеиздат, 1985.
2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 6. Часть II. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. — Л.: Гидрометеиздат, 1987.
3. Smith L. C., Pavelsky T. M. Remote sensing of river discharge // *Surveys in Geophysics*. 2008.
4. Gleason C. J., Smith L. C. Toward global mapping of river discharge using satellite images // *PNAS*. 2014.
5. Durand M. et al. The Surface Water and Ocean Topography mission // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2010.
6. Pavelsky T. M. et al. Automated river width extraction // *Water Resources Research*. 2018.

7. Donlon C. et al. Sentinel3 mission overview // Remote Sensing of Environment. 2012.
8. Calmant S., Seyler F. Continental surface waters from satellite altimetry // Comptes Rendus Geoscience. 2006.
9. Biancamaria S. et al. Validation of Sentinel3 altimetry over rivers // Remote Sensing. 2018.
10. Crétau J. F. et al. Monitoring inland waters using satellite altimetry // Earth System Science Data. 2016.
11. Yang X. et al. River width dynamics from Sentinel2 imagery // Remote Sensing. 2019.
12. Allen G. H., Pavelsky T. M. Global river width database // Earth System Science Data. 2018.
13. Tarpanelli A. et al. Discharge estimation using river width // Remote Sensing of Environment. 2017.
14. Huang Q. et al. Monitoring small rivers using optical satellite data // Water. 2020.
15. Lu X., Weng Q. Extraction of water bodies from highresolution imagery // IJRS. 2014.
16. Downey A. et al. Highresolution satellite imagery for river morphology // Remote Sensing Applications. 2017.
17. Zhang X. et al. River width estimation using WorldView imagery // Journal of Hydrology. 2019.
18. Yamazaki D. et al. Improving small river detection // Water Resources Research. 2021.
19. Li L. et al. Multispectral water mapping using highresolution imagery // ISPRS JPRS. 2020.
20. Pekel J.-F. et al. Global surface water mapping // Nature. 2016.
21. Garel E. et al. River morphology analysis using VHR data // Geomorphology. 2018.
22. Pohl S. et al. Monitoring small rivers with PlanetScope // Hydrological Processes. 2022.
23. Водный кодекс Российской Федерации. — М.: Проспект, 2023.
24. Чеботарёв А. И. Гидрология суши. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 456 с.
25. Национальный атлас России. Том 2. Природа и экология. — М.: Роскартография, 2007.
26. Gleason C. J., Smith L. C. Toward global mapping of river discharge using satellite images // PNAS. — 2014.
27. Drusch M. et al. Sentinel2: ESA's Optical HighResolution Mission for GMES Operational Services // Remote Sensing of Environment. — 2012.
28. Copernicus Data Space Ecosystem Browser [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/> (дата обращения: 28.01.2026).
29. Руководство по гидрологическим наблюдениям. — СПб.: Росгидромет, 2016.
30. Справочник по гидрологии суши. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 528 с.
31. Русловые процессы и деформации речных русел / под ред. Н. И. Маккавеева. — М.: Изд-во МГУ, 1971. — 432 с.
32. Чалов Р. С. Русловые процессы (теория, методы, практика). — М.: Изд-во МГУ, 2008. — 608 с.
33. Руководство по гидравлическим расчетам русел рек. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000. — 314 с.
34. Методические указания по расчетам характеристик малых рек. — М.: Росгидромет, 2012. — 96 с.

Определение эффективности комбинированных методов очистки воды от ионов железа

Рудковская Анна Евгеньевна, студент;

Шмиткова Сати Александровна, студент магистратуры

Научный руководитель: Чурюкина Светлана Валерьевна, старший преподаватель

Российский университет транспорта (МИИТ) (г. Москва)

В статье рассмотрены актуальные проблемы очистки природных и сточных вод от соединений железа. Проанализированы современные методы удаления железа, включая фильтрацию, реагентные, сорбционные и электрохимические способы. В ходе экспериментальной части исследована эффективность комбинированного метода, включающего предварительную фильтрацию, хемосорбцию на цеолитах и последующее фильтрование. Показано, что предложенная технологическая схема позволяет достичь высокой степени очистки воды от ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} .

Ключевые слова: очистка воды, ионы железа, сорбция на цеолитах.

Введение

Качество воды является одним из ключевых факторов экологической безопасности и здоровья населения. Согласно нормативным документам РФ, предельно допустимая концентрация общего железа в воде хозяйственно-питьевого назначения не должна превышать 0,3 мг/дм³

[1]. Повышенное содержание железа ухудшает органолептические свойства воды, приводит к образованию осадков, коррозии трубопроводов и снижению эффективности водопользования.

Железо в природных водах присутствует в различных формах: растворенной (Fe^{2+}), коллоидной, взвешенной (Fe^{3+}), а также в виде органических и бактериальных ком-

плексов. Это требует применения комбинированных методов очистки, учитывающих специфику загрязнений [5].

Поступление железа в основные объекты окружающей среды происходит так же, как и других неорганических загрязнителей: естественным и антропогенным путями в виде растворов солей. Такие растворы просачиваются также и в грунтовые воды, воздействуя таким образом на растения и, соответственно, вызывая различные болезни животных. Так, например, при повышении в природных водах концентрации ферроцианидов, возникает разрушение корней растений, увеличение в крови теплокровных концентрации метгемоглобина, не способного переносить кислород к жизненно важным органам, поражение почек [3].

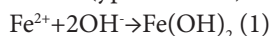
Целью данной работы являлось исследование эффективности комбинированного метода очистки воды от ионов железа на основе фильтрации и хемосорбции на цеолитах.

Литературный обзор

В настоящее время существует множество инновационных методов очистки сточных вод от ионов железа, таких как [2]:

— озонирование: химический метод очистки, при котором происходит окисление железа и переход его в нерастворимую форму;

— электрохимическая очистка, в основе которой лежит электролиз, при анодном растворении железа, характеризующемся образованием ионов Fe^{2+} и переходом их в раствор, происходит только подщелачивание. Однако подщелачивание раствора ограничено из-за протекания реакций гидролиза с образованием малорастворимого соединения (уравнение 1):



— электромагнитная очистка, при которой электромагнитное поле намагничивает частицы железа, что спо-

собствует их объединению, после чего они легко отфильтровываются;

— очистка на ионообменных смолах: заключается в эквивалентном замещении подвижных ионов в составе ионита на аналогично заряженные ионы-загрязнителя. Избыточные ионы железа замещаются на смоле.

Каждый из вышеперечисленных методов имеет свои преимущества и недостатки.

Для очистки сточных и природных вод от железа могут быть применены и адсорбционные методы очистки. Очень интересен способ очистки вод, загрязненных гексацианоферратами, при помощи полиэлектролитных микрокапсул, используемых в качестве сорбента [3].

Методы и материалы

В качестве объекта исследования использовались модельные пробы природных вод с неизвестным содержанием соединений железа. Для идентификации ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} проводились качественные химические реакции с использованием реактивов: $K_4[Fe(CN)_6]$, $K_3[Fe(CN)_6]$ и NH_4OH . Измерялись такие параметры, как цвет, запах, прозрачность и уровень pH.

Основные этапы эксперимента включали:

1. Предварительную фильтрацию проб через гранулированные фильтры для удаления взвешенных форм железа.

2. Хемосорбционную очистку с применением цеолитов NaX для удаления ионных форм железа.

3. Доводочную фильтрацию через фильтровальную бумагу.

Эффективность очистки оценивалась по изменению органолептических и химических показателей проб.

Результаты и обсуждение Качественные реакции подтвердили наличие ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} во всех исходных пробах (см. табл. 1).

Таблица 1. Определение присутствия ионов Fe^{2+}/Fe^{3+} в исходных пробах воды с помощью качественных реакций

№ пробы	Определение ионов железа в пробах			
	Определяемый ион	Реагент	Аналитический сигнал	Полученный результат
1	Fe^{2+}	NH_4OH	$Fe(OH)_2 \downarrow$ - грязно-зеленый осадок	Вода обесцветилась
	Fe^{3+}		$Fe(OH)_3 \downarrow$ - бурый	
	Fe^{2+}	$K_3[Fe(CN)_6]$	$KFe[Fe(CN)_6] \downarrow$ - синий	Наличие осадка
	Fe^{3+}		—	
	Fe^{2+}	$K_4[Fe(CN)_6]$	$Fe_2[Fe(CN)_6]$ - белый (синее на воздухе)	Вода позеленела
	Fe^{3+}		$KFe[Fe(CN)_6]$ — берлинская лазурь	
2	Fe^{2+}	NH_4OH	$Fe(OH)_2 \downarrow$ - грязно-зеленый осадок	Вода обесцветилась
	Fe^{3+}		$Fe(OH)_3 \downarrow$ - бурый	
	Fe^{2+}	$K_3[Fe(CN)_6]$	$KFe[Fe(CN)_6]$ - синий	Много желто-зелено-синего осадка
	Fe^{3+}		—	
	Fe^{2+}	$K_4[Fe(CN)_6]$	$Fe_2[Fe(CN)_6]$ - белый (синее на воздухе)	Зеленовато-голубая вода
	Fe^{3+}		$KFe[Fe(CN)_6]$ — берлинская лазурь	

№ пробы	Определение ионов железа в пробах			
	Определяемый ион	Реагент	Аналитический сигнал	Полученный результат
3	Fe ²⁺	NH ₄ OH	Fe(OH) ₂ ↓-грязно-зеленый осадок	Изменений не произошло
	Fe ³⁺		Fe(OH) ₃ -бурый	
	Fe ²⁺	K ₃ [Fe(CN) ₆]	KFe [Fe(CN) ₆] -синий	Желто-зелено-синий осадок, но меньше, чем в пробе 2
	Fe ³⁺		—	
	Fe ²⁺	K ₄ [Fe(CN) ₆]	Fe ₂ [Fe(CN) ₆] -белый (синеет на воздухе)	Зеленовато-голубая вода
	Fe ³⁺		KFe [Fe(CN) ₆] — берлинская лазурь	
4	Fe ²⁺	NH ₄ OH	Fe(OH) ₂ ↓-грязно-зеленый осадок	Изменений не произошло
	Fe ³⁺		Fe(OH) ₃ -бурый	
	Fe ²⁺	K ₃ [Fe(CN) ₆]	KFe [Fe(CN) ₆] -синий	Желто-зелено-синий осадок, но меньше, чем в пробе 2
	Fe ³⁺		—	
	Fe ²⁺	K ₄ [Fe(CN) ₆]	Fe ₂ [Fe(CN) ₆] -белый (синеет на воздухе)	Насыщенный зеленовато-голубой цвет воды
	Fe ³⁺		KFe [Fe(CN) ₆] — берлинская лазурь	

Некоторое отличие полученных результатов от нормы (табл. 1) объясняется концентрацией ионов железа в пробах воды, pH раствора, возможным присутствием мешающих ионов, чувствительностью реакций [4].

Даже после предварительной фильтрации через гранулированные фильтры в воде сохранялись растворенные формы железа (пробы № 1 и 2 были пропущены через гранулированные фильтры, см. табл. 2), что указывает на необходимость применения дополнительных методов очистки (см. рис. 1).

После проведения хемосорбции на цеолитах наблюдалось значительное улучшение качества воды: пробы становились бесцветными, исчезал запах, повышалась прозрачность, а уровень pH нормализовался до значений 7–8 (табл. 2). Процесс хемосорбции показан на рис. 1.2. Можно наблюдать помутнение воды в некоторых пробах, что является признаком химических взаимодействий.

Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности цеолитов в процессе ионного обмена, где

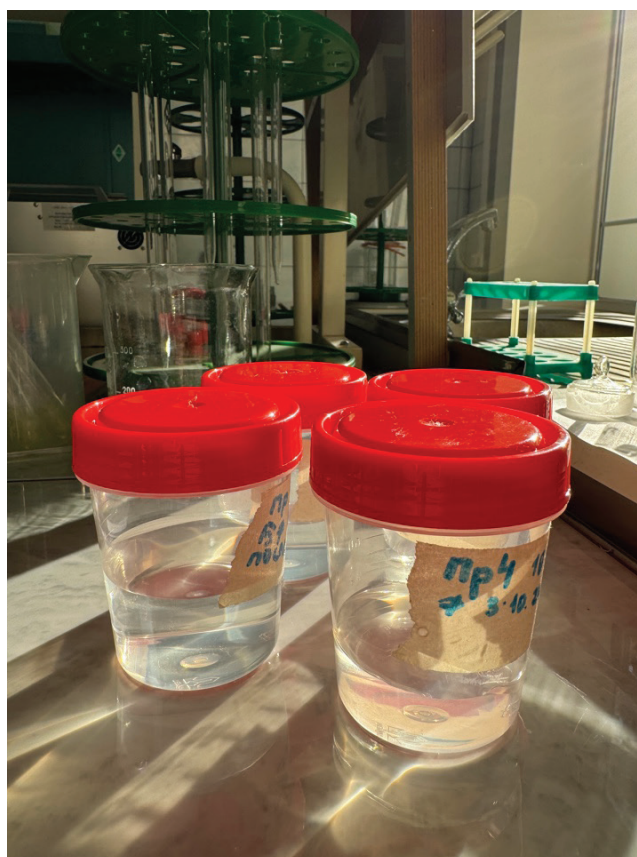


Рис. 1. Исходные пробы воды

Таблица 2. Органолептические показатели проб до и после очистки

№ пробы	Показатели до очистки				Показатели после очистки			
	Цвет	Запах	Прозрачность	pH	Цвет	Запах	Прозрачность	pH
1	Бледно-желтоватая	3, металлический	+	6	Бесцветная	0	+	7
2	Бледно-желтоватая	3 металлический	+	7	Бесцветная	0	+	8
3	бесцветная	1 металлический	+	5	Бесцветная	0	+	7
4	бесцветная	1 металлический	+	6	Бесцветная	0	+	8



Рис. 2. Процесс хемосорбции на цеолитах

ионы натрия замещали ионы железа. Однако для достижения оптимального результата требуется строгое дозирование сорбента, поскольку его недостаточное количество снижает эффективность очистки.

На основании проведенных исследований предложена технологическая схема очистки сточных вод, содержащих соединения железа (рис. 1). Схема включает три основных этапа:

1. Предварительная фильтрация для удаления взвешенных частиц.
2. Хемосорбция на цеолитах для удаления растворенных ионов железа.
3. Финальная фильтрация для отделения остаточных примесей.

Литература:

1. СанПиН 2.1.5.980–00. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод.
2. Ветошкин А. Г. Процессы и аппараты защиты гидросферы. Учебное пособие. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. — с.: ил., библиогр.
3. Дюкина А. Инновационный метод очистки сточных вод с помощью микрокапсул // ИТЭБ РАН. — <https://new.ras.ru/press-center/innovatsionnyy-metod-ochistki-stochnykh-vod-s-pomoshchyu-mikrokapsul/> (дата обращения 29.01.26).

Выводы

1. Комбинированный метод очистки, включающий фильтрацию и хемосорбцию на цеолитах, позволяет эффективно удалять из воды как взвешенные, так и растворенные формы железа.
2. Цеолиты NaX показали высокую сорбционную способность в отношении ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} , что подтверждено результатами качественных реакций и изменением органолептических показателей.
3. Предложенная технологическая схема является перспективной для применения в системах водоподготовки, однако требует дополнительных исследований по оптимизации расхода сорбента и режимов очистки.

4. Лурье Ю. Ю. Химический анализ сточных вод. — М.: «Химия», 1977. — 530 с.
5. Железо в воде: гигиенические аспекты // Центр гигиенического образования населения Роспотребнадзора. — URL: <https://cgon.rospotrebnadzor.ru> (дата обращения: 19.01.2026).

ИСКУССТВОВЕДЕНИЕ

«Царство Флоры»: поэзия метаморфоз в живописи Пуссена

Артеменко Александра Ивановна, студент
Кубанский государственный университет (г. Краснодар)

Данная работа посвящена комплексному анализу картины Никола Пуссена «Царство Флоры». Цель исследования — раскрыть философскую программу произведения через детальный разбор его мифологических источников. Основное внимание уделяется интерпретации фигур как аллегорий семи смертных грехов, что выявляет морально-философскую глубину работы. Картина предстаёт как сложный символ вечного обновления, где смерть и страдание преодолеваются через метаморфозу в вечную красоту.

Ключевые слова: искусство, метаморфоз, природа, жизнь, смерть, любовь, мифология, живопись.

Не умирает в природе ничто, но лишь претерпевает превращение.

Джордано Бруно

Подобно большинству мастеров своей эпохи, Никола Пуссен часто обращался к вечным сюжетам, черпая вдохновение в священных текстах, исторических хрониках и античной мифологии. Картина «Царство Флоры» принадлежит к последней категории, являясь живописной интерпретацией «Метаморфозам» Овидия. Само название поэмы, означающее «превращения», определяет её суть: повествование о героях, чьи жизни трагически или чудесно завершились трансформацией в растения, животных или небесные светила.

В центре этой аллегорической композиции — богиня цветов, весны и плодородия Флора, окруженная персонажами, чьи земные пути оборвались, чтобы возродиться в бутонах. Гений Пуссена проявился в смелом художественном решении: он собрал в едином вневременном пространстве героев, чьи истории в оригинале Овидия не пересекались. Их объединяет лишь посмертная участь — вечное цветение в садах богини Флоры.

История её происхождения изложена Овидием в поэме «Фасты». Изначально нимфа Хлорида была насильно похищена богом западного ветра Зефиром, который затем сделал её своей супругой и даровал ей статус богини и волшебный сад. Этот контраст — насильственное начало и последующее цветущее царство — задаёт тон всей картине. Именно в этом подаренном саду Флора, согласно Овидию, создала цветы из крови погибших героев, «жалобный возглас его на лепестках начертан». [1] Саму Флору художник изображает удивительно «земной». Её облачение — платье редкого и сложного для XVII века

зелёного пигмента — символизирует саму природу, гармонию и вечное обновление.

Богиня Флора окружена Путти — озорными и невесомыми духами, в которых заключена глубокая символика, раскрывающая саму суть картины. Вдохновлённые образом Амура, бога любви, Путти связывают царство Флоры с силой, давшей ему жизнь. Зефир, супруг богини, похитил её, движимый страстью. Эти крылатые дети — словно визуальное эхо этой любви, её лёгкое и радостное продолжение. Их беззаботная игра, рассыпание цветов и лёгкость — это сама радость бытия, воплощённая в форме.

Рядом со статичными, погружёнными в свои драмы героями, Путти динамичны и свободны, как сама жизнь. Порхая между цветами и героями, они соединяют историю каждого персонажа с вечным циклом природы. Их можно представить, как нежных проводников душ, помогающих им обрести новую форму в царстве Флоры. Подобно тому как сам поэт в «Метаморфозах» оживлял природу, населяя ручьи, деревья и цветы душами, Пуссен населяет сад Флоры этими духами. Они — визуальная метафора одушевлённого мира, где всё, даже воздух, полно жизни и смысла. [4]

«Царство Флоры» Никола Пуссена — это первый в истории искусства пример визуального синтеза мифологических сюжетов, где каждый цветок хранит память о драме, а богиня царит над миром, где смерть есть лишь начало иной, прекрасной формы бытия. [5] Сквозь призму христианской морали, хорошо знакомой Пуссену, трагические судьбы героев можно интерпретировать как аллерию смертных грехов, приведших их к метаморфозе.

Слева, в зеркальном противопоставлении цветущей Флоре, изображён могучий Аякс, герой Троянской войны, изображенный в момент своей смерти от накалывания на свой меч. [1] Здесь он один из немногих персонажей, который принял решение сам закончить свою жизнь. Причиной этому стало несправедливое решение ахейских вождей присудить доспехи убитого Ахилла не ему, а хитроумному Одиссею. Это подчёркивает мотив оскорблённой чести. Афина, желая спасти греческих вождей от его ярости, лишила его рассудка, и он вырезал стадо овец и быков, думая, что убивает своих обидчиков. Придя в себя и осознав свой поступок, он решается на отчаянный шаг. И это вовсе не гипертрофированная реакция, а следствие чудовищного падения в его собственных глазах, раскрывающее ценности античного героического мира.

В древней Греции Скот был основой экономики, мерилом богатства и статуса. Животных приносили в жертву, чтобы умилостивить богов. [3] Скот был связующим звеном между миром людей и миром богов. Убийство скота в безумии, вне ритуала, — кощунство. Для воина-аристократа, каким был Аякс, война — это арена личной доблести, где сражаются с равным противником. Резня домашнего скота — это дело раба, мясника, а не героя. В ней нет славы, только низменное, почти бытовое насилие.

Вся нерастратенная, кипящая ярость, не найдя внешнего выхода, оборачивается на него самого. Он чувствует стыд и вину такой силы, что единственным способом восстановить утраченный контроль и искупить позор видится только уничтожение их источника — себя.

Пуссен изображает Аякса не в ярости, а в глубокой задумчивой скорби. Он уже осознал всё. Его поза монументальна, но взгляд обращён внутрь себя. Доспехи и щит брошены — они больше не нужны тому, кто опозорил звание воина. Его гибель — прямое следствие неукротимой гордыни и неконтролируемого гнева, превративших великого воина в жертву собственной ярости. У ног его, вопреки Овидию, цветёт не гиацинт, а белая гвоздика — возможно, символ чистой, но запятнанной чести. [8] И гнев, которым он хотел покарать мир, обрушился на единственную оставшуюся цель — его собственную душу, что и привело к метаморфозе в цветок, вечно напоминающий о тщетности необузданной гордыни.

Рядом с массивной, погруженной в мрачное отчаяние фигурой Аякса, Пуссен помещает образ иной, воздушной печали. Это Клития, отвергнутая возлюбленная бога Солнца Аполлона. Ее поза — воплощение томления: она сидит на голой земле, изящной рукой прикрывая лицо, но взгляд её неподвижно устремлён в небеса. Там, в зените композиции, в ослепительном сиянии мчится на золотой колеснице её недостижимый Бог. Его квадрига, запряжённая четырьмя конями, символизирует вечный цикл четырёх времён года. Лента с весенними знаками зодиака (Рыбы, Овен, Телец, Близнецы) прямо указывает на тот сезон, когда природа, подобно влюблённой Клитии, пробуждается к жизни под ласковыми лучами. Таким образом, Аполлон — это сама сила, дарующая жизнь цветам

в саду Флоры, но для Клитии он — источник безнадёжной страсти и страдания. [2]

Как повествует Овидий в «Метаморфозах», Клития: «ни воды, ни еды не касалась. Голод лишь чистой росой да потоками слез утоляла, не привставая с земли. На лик проезжавшего Бога только смотрела, за ним головой неизменно вращая. И говорят — к земле приросла. В цветок, фиалке подобный, вдруг превратилось лицо. И так, хоть держится корнем, вертится Солнцу вослед. И любовь изменяясь, сохраняет». [1]

Рядом с ней изображен подсолнух — цветок, который всегда повернут к Солнцу, как и Клития к Аполлону. Примечательно, как цветок, произрастающий в Северной и Южной Америке, появился в сюжете древней Греции, ведь Овидий никак его описать не мог. Подсолнух появился благодаря европейцам лишь в XVII веке в связи с великими географическими открытиями. Клития ассоциировалась, скорее, с гелиотропом. Оба цветка имеют схожую особенность следовать движению Солнца в течении дня, но тем не менее чаще всего Клитию все-таки изображают в окружении подсолнуха. [8]

История Клитии — не о внезапной смерти, а о медленном угасании и вечной верности, застывшей в форме цветка. Её грех — это уныние в его глубочайшем, античном и христианском понимании. [7] Клития у Пуссена — это трагический образ любви, переродившейся в саморазрушительную одержимость. Её метаморфоза в цветок — это не наказание, а закономерный итог: она стала тем, к чему стремилась всей своей искажённой волей — частью природного цикла, но циклом пассивным, вечно зависимым от источника своего страдания.

Судьба Нарцисса, запечатлённая Овидием в «Метаморфозах», — это про красоту, обернувшуюся проклятием. Его мать, нимфа Лириопе, ещё в младенчестве сына получила от прорицателя Тересия двусмысленное пророчество: «Долго жить будет, коль сам себя не увидит». [1] Этот загадочный вердикт навис над жизнью юноши. Обладая весьма привлекательной внешностью, Нарцисс отвергал всех влюблённых, ибо ничья душа не могла сравниться с тем идеальным образом, что он носил в себе. Однажды он отправился на прогулку в лес, где встретил нимфу Эхо, которая была наказана тем, что не может начать разговор первой, а лишь обречена навсегда повторять последнее слово собеседника. Эхо сразу же влюбляется в юношу и следует за ним. Заблудившийся в лесу Нарцисс начинает звать: «Здесь кто-нибудь есть?», на что Эхо отвечает: «Есть». Он требовал: «Выходи ко мне!», и звучало: «Ко мне!». [1] Но, отвергнув и этот отклик, он остался в совершенном одиночестве. Эхо, не вынеся презрения, истаяла от любви, оставив после себя лишь голос — вечное напоминание о том, что было отвергнуто. Как отмечалось в «Метаморфозах»: «кожу стянула у ней худоба, телесные соки в воздух ушли, и остались лишь голос да кости. Голос живет, говорят, что кости камнями стали. Лишь звук живым у нее сохранился». [1]

Богиня возмездия, Немезида, услышав мольбу отвергнутой, привела пророчество в действие: утомленный про-

гулкой Нарцисс, наклонившись к чистому ручью, решил напиться. И, увидев лик невиданной красоты в своем отражении, влюбился. Как отмечал автор: «жажду хотел утолить, но жажда возникла другая». [1] Так и умер он от любви к себе, превратившись в нарцисс — цветок прекрасный, но ядовитый. Наклонённая «голова» цветка ассоциируется с Нарциссом, склонившимся над ручьем в акте бесконечного любования собой. Также положение цветка похоже на положение героя на картине.

Пуссен гениально передаёт эту двойственность. Его Нарцисс изображён в момент созерцания, а рядом, как тень, фигура с сосудом — возможно, та самая Эхо, чей голос остался в воде и ветре. И здесь раскрывается главный символизм. Вода на картине — это и источник жизни для всего сада, и зеркало смерти для Нарцисса. Интересно, что он сын речного бога Кефиса, и стихия, давшая ему жизнь, стала для него погибелью. Его грех — не просто самовлюблённость, но и зависть к недостижимому образу, который принадлежал лишь ему, но которым он не мог овладеть. [7] Он превратился в ядовитый цветок для окружающих, как когда-то был ядовит его гордый нрав.

В античном мире гибрис (др.-греч. ὕβρις — дерзость, чрезмерная гордыня) каралась богами [2]. Пророчество было дано как предостережение, но своим поведением Нарцисс сам привёл его в исполнение. Он оскорбил не только людей, но и Богов, пославших ему эти испытания, поставив свою личность выше законов судьбы и мироздания. В саду Флоры, где все трагедии преображаются в красоту, он навеки остался символом красоты бесплодной, любви, обращённой в пустоту, и гордыни, что не смогла вынести собственного отражения.

В тени холодного самосозерцания Нарцисса, Пуссен помещает образ иной любви — взаимной, пылкой и обречённой. Это влюбленная пара Смилокс и Крокус, [1] чья история, переданная Овидием и другими античными авторами, лишена трагизма предательства или безумия, но полна горячий, земной тоски. Их грех — не гордыня и не уныние, а неутолимая, всепоглощающая страсть в её античном понимании — как нарушение меры и естественного порядка вещей. [7] Их вина заключалась не в порочности чувства, а в его чрезмерной интенсивности, бросившей вызов самим законам природы. Крокус, смертный юноша, вспылал любовью к божественной нимфе Смилокс, [1] чья любовь на Земле была невозможна, как не может слиться воедино пламя и вода.

Боги, наблюдая за этой прекрасной, но также и мучительной агонией, проявили не гнев, а милосердную жалость. Они не стали наказывать влюблённых, но и не могли нарушить установленный порядок, даровав нимфе смертность или юноше — бессмертие. Вместо этого они совершили акт высшей поэзии: прервав их земное существование, они даровали ему вечную жизнь в иной, растительной форме. Так Крокус превратился в Шафран, а Смилак — в гибкий вьюнок. [1] С этого момента Крокус стал символом любви, который преодолевает смерть. [8]

На картине Пуссена они изображены в момент нежного единения. В отличие от одиноких фигур Аякса, Клитии или Нарцисса, их руки сплетены, взгляды обращены друг к другу. Они уже не страдают, но их позы полны тихой меланхолии — они обрели покой, но утратили человеческий облик. Их метаморфоза — это благословенная смерть, финальный аккорд неумеренной страсти, который боги милостиво превратили в вечный, цветущий дуэт.

Позади влюбленных располагаются две собаки, которые в истории искусства являются символом преданности и любви, но в данном контексте они сопровождают на охоту юношу в голубом одеянии, возлюбленного Афродиты — Адониса. В мифологии собаки часто выступают в роли психопомпов — существ, которые сопровождают души умерших в загробный мир, в данном случае они действительно стали свидетелями смерти их хозяина. [2]

Обращаясь к истории, можно привести несколько примеров собак-проводников в разных культурах. Например, в Древнем Египте Бог Анубис, изображаемый с головой шакала или собаки, был главным проводником душ и судьей в царстве мертвых. У Ацтеков собака породы ксолоитцкуинтли считалась земным воплощением бога Шолотля. Они верили, что именно эта собака помогает душе преодолеть опасную подземную реку на пути в Миктлан (загробный мир). В Древней Греции Трёхглавый пес Цербер охранял выход из Аида, не выпуская тени мертвых обратно. [2] Собаки также сопровождали Гермеса и богиню Гекату, повелительницу призраков и перекрестков. Одна из самых известных гончих Гекаты — троянская царица Гекаба. После падения Трои она была превращена в черную собаку и стала вечной спутницей богини. Также интересно отметить, что в более поздние эпохи, с приходом христианства, этот образ был демонизирован. Образ черного пса, сопровождающего «ведьму» или «дьявола», во многом берет истоки именно из античных представлений о Гекате.

Пуссен изображает Адониса в момент трагического прозрения. Откинув лазоревый плащ, он созерцает смертельную рану на своём бедре, из которой, по воле мифа, уже прорастают алые анемоны (или, по другой версии, пурпурные розы). [1] Его фигура — воплощение совершенной, но хрупкой мужской красоты, обречённой на увядание. Афродита, предчувствуя беду, умоляла его отказать от опасной затеи. Его страсть к охоте и преследованию зверя, оказалась сильнее страсти к самой богине любви. Именно здесь кроется его грех — Неразумие или Дерзость, ослепляющая рассудок. [7] Это не злой умысел, а губительная безрассудность, пренебрежение мудрым предостережением ради сиюминутного увлечения. В этом конфликте — суть трагедии: он пал жертвой не чужой ненависти, а собственного необузданного порыва.

В руках Пуссена эта история обретает особую глубину. Адонис на картине — не в агонии битвы, а в состоянии сосредоточенной скорбной созерцательности. Он видит свою гибель и принимает её. Рядом с Адонисом, алой жертвой собственной неосторожности, Пуссен помещает фигуру

Гиацинта — юноши, чья смерть стала ещё более нелепой и оттого бесконечно печальной. Любимец Аполлона погиб во время игры по метанию диска. Аполлон, во время дружеского состязания, бросает его с божественной силой. Однако, согласно самой известной версии мифа, Бог западного ветра Зефир, также пылавший ревностной страстью к Гиацинту, направляет медный диск прямо в голову юноши. Таким образом, Гиацинт пал не от руки возлюбленного, а стал жертвой слепой ревности третьей стороны. [2]

Аполлон из пролитой на землю крови взращивает цветок гиацинт — тёмно-лиловый, с лепестками, отмеченными странным узором, напоминающим буквы. [8] Этот цветок становится живым памятником, воплощённой памятью о любви и утрате, где красота неотделима от печали. На картине Гиацинт любит цветы, в которые скоро превратится. Он бережно касается головы, как бы предчувствуя удар, а его взгляд устремлён вдаль, возможно, к самому Аполлону на небесах. Рядом с цветком крови Адониса (анемоном) его лиловый гиацинт создаёт пару «юных возлюбленных, павших от страсти».

Среди страдающих и преображающихся тел, в левой части полотна царит безмолвный страж. Это герма Приапа — божества садов, плодородия и мужской творческой силы. Его грубоватая, откровенная форма, увенчанная цветами, не случайна. Он — архаический фундамент, на котором зиждется всё «Царство Флоры». Его установка в саду была в античности актом призыва. Приап охранял границы от воров и дурного глаза, а своим могущественным символом гарантировал щедрое изобилие и непрерывность роста. [2]

У его подножия, в самом низу композиции, изливает свои дары Рог изобилия. Это неиссякаемый источник, из которого рождаются не плоды или монеты, а поток живых цветов, стелющихся к ногам Нарцисса. Рог, согласно мифу, принадлежал козе Амалфее, вскормившей Зевса, и стал символом бесконечного дара. [2] В контексте картины он обретает глубокий философский смысл. Это зримое воплощение принципа, что из смерти и трагедии рождается новая красота. Цветы, вытекающие из рога, — это и есть те самые метаморфозы героев, ставшие частью вечного природного цикла. Хоть его присутствие в саду традиционно, однако в контексте христианской этики его гипертрофированная мужская сила читается как символ по-

хоти, низменного, необузданного инстинкта. Он — фон, природная стихия, на фоне которой разворачиваются более утончённые и трагические человеческие драмы.

Сам сад, где разворачиваются действия, это символ владения и коллекционирования. О том, что мы находимся в саду нам говорят не только цветы, но и пергало — конструкция, которая была популярна при обустройстве садов XVII века в Италии. [6] Держание у себя сада считалось роскошью и означало нахождение в особом положении в обществе. Вырастить в саду американский подсолнух или тюльпан из Османской империи значило продемонстрировать не только богатство, но и интеллектуальное превосходство. Гость должен был не только восхищаться, но и слушать учёные рассказы о свойствах каждого цветка — отсюда и популярность мифологических сюжетов, дававших растениям поэтическую биографию. [6] На картине Пуссена противопоставлены дикая природа (скала, ручей) и «окультуренный» сад с перголой. Это аллегория мирских искушений, стяжательства и жажды обладания экзотическим и редким, что можно трактовать как отсылку к сребролюбию в его широком смысле. [4]

Таким образом, сад Пуссена — это философская модель мира. Скала и ручей — это непреложность судьбы и течение времени. Пергола и клумбы — это искусство и человеческий разум, пытающиеся придать этой стихии гармоничную форму. Все драмы — гордыня Аякса, самовлюблённость Нарцисса, страсть Крокуса и Смилаксы — происходят на этой границе между диким и культурным. И богиня Флора царит ровно посередине, являясь посредницей в этом великом превращении. Финал этой визуальной поэмы — не смерть, а торжествующая метаморфоза. Пуссен предлагает утешительную и возвышенную мысль: всё, что отжило, всё, что было сломлено страстью или роком, не исчезает, а преображается в иную, совершенную форму бытия.

«Царство Флоры» Никола Пуссена — это гимн вечному круговороту жизни и смерти. Даже сквозь призму смертных грехов, определивших судьбы героев, мы видим не осуждение, а примирение. Все страсти, все трагедии и ошибки в итоге растворены в цветущем царстве Флоры, став частью прекрасного и гармоничного миропорядка. Увядаящий цветок содержит в себе семя новой жизни, а сама смерть — лишь момент в великом, цветущем цикле природы.

Литература:

1. Публий Овидий Назон. Любовные элегии; Метаморфозы; Скорбные элегии» / Пер. с латинского С. В. Шервинского. — М.: Худож. Лит., 1983.
2. Кун Н. А. Легенды и мифы Древней Греции / Н. А. Кун. — Москва: Издательство Юрайт, 2025.
3. Сергеев В. С. История Древней Греции: учебник для вузов / В. С. Сергеев. — Москва: Издательство Юрайт, 2025.
4. Базен Ж. История французской живописи. — М.: Искусство, 1975.
5. Алпатов М. В. Всеобщая история искусств. Т. 3. — М.: Искусство, 1960.
6. Шпенглер О. Закат Европы. Очерки морфологии мировой истории. Гештальт и действительность / О. Шпенглер. — М.: Мысль, 1993.
7. Орлова Е. В. Семь смертных грехов в европейской культуре / Е. В. Орлова. — М.: Вече, 2005.
8. Бернхардт П. Цветы. Энциклопедия. — М.: АСТ, 2007.

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 5 (608) / 2026

Выпускающий редактор Г. А. Письменная
Ответственные редакторы Е. И. Осянина, О. А. Шульга, З. А. Огурцова
Художник Е. А. Шишков
Подготовка оригинал-макета П. Я. Бурьянов, М. В. Голубцов, О. В. Майер

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна.
Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал размещается и индексируется на портале eLIBRARY.RU, на момент выхода номера в свет журнал не входит в РИНЦ.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

ISSN-L 2072-0297

ISSN 2077-8295 (Online)

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый». 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

Номер подписан в печать 11.02.2026. Дата выхода в свет: 18.02.2026.

Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

Почтовый адрес редакции: 420140, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Юлиуса Фучика, д. 94А, а/я 121.

Фактический адрес редакции: 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: info@moluch.ru; <https://moluch.ru/>

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.